

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

ESTUDI DEL TEMPS DE DESPRESSURITZACIÓ DELS EQUIPS D'UNA PLANTA PETROLERA EXPOSADA A UNA SITUACIÓ D'INCENDI

MEMÒRIA

Autors: Berta Garcia i Marta Montobbio
Director: Lluís Pons
Convocatòria: Juny 2016



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resum

El present Treball de Fi de Grau és un estudi sobre les situacions d'emergència en una plataforma petroliera, centrat concretament en el cas d'un incendi. A través del coneixement i investigació històrica de la indústria del petroli i les alternatives fins al moment conegudes per despressuritzar els equips de la central, es pretén crear una nova eina de treball capaç de calcular el temps de seguretat del qual es disposa abans que es doni una explosió de grans dimensions. Aquest fet és degut a què els hidrocarburs emmagatzemats a un dels dipòsits de la planta, anomenat separador, entra en contacte amb la flama, provocant un augment de temperatura fins que el material arriba a la seva tensió de ruptura. Controlant aquests factors es pot arribar a conèixer el temps del que es disposa abans de l'explosió.

Sumari

RESUM	3
SUMARI	5
1. GLOSSARI	7
1.1. Abreviatures i Acrònims	7
1.2. Definicions	7
2. PREFACI	9
2.1. Origen del projecte	9
2.2. Motivació	9
2.3. Requeriments previs	10
3. INTRODUCCIÓ	11
3.1. Objectius del projecte	11
3.2. Abast del projecte	11
4. MARC TEÒRIC	12
4.1. Context	12
4.1.1. Història de les petroleres	13
4.1.2. Seguretat en una situació d'emergència	16
4.2. Esquema dels elements d'una petrolera	18
4.2.1. Procés	18
4.2.2. Conceptes	23
4.2.3. Explicació de la situació d'emergència	24
4.2.4. Limitacions i prevenció	25
4.3. La despressurització i els Pressure Vessels	28
4.3.1. El separador o Vessel	28
4.3.2. Associacions i Data	30
4.3.3. Mètodes per prevenir la ruptura del separador	32
4.3.4. Mètode de Despressurització	36
4.3.5. Sistemes de Despressurització en 15 minuts	37
5. CARACTERÍSTIQUES DE L'ESTUDI	40
5.1. Estudi de Riscs	40
5.2. Cronograma	48
5.3. Estudi econòmic	52
5.3.1. Costos de recursos humans	52

5.3.2. Costos directes	56
5.3.3. Costos indirectes	57
5.4. Impacte ambiental	58
6. MARC PRÀCTIC	59
6.1. Passos a seguir. Punt de partida i objectiu final.....	59
6.2. Paràmetres, Fórmules i Gràfics.....	60
6.3 Metodologia	67
6.4 Metodologia amb Excel	70
7. RESULTATS	85
7.1. Casos habituals amb HYSYS.....	85
7.2. Anàlisi Restriction Orifice (RO) i resultats	89
7.3. Aplicació de l'eina vies de continuació	94
CONCLUSIONS	95
AGRAÏMENTS	97
BIBLIOGRAFIA	98
Referències bibliogràfiques.....	98

1. Glossari

1.1. Abreviatures i Acrònims

- **API:** American Petroleum Institut
- **ASME:** American Society of Mechanical Engineers
- **ESD:** Emergency Shutdown Device
- **HPI:** Hydrocarbon Processing Industry
- **NFPA:** National Fire Protection Association
- **OSHA:** Occupational Savety and Health Administration
- **PSV:** Pressure Savety Valve
- **MMSCFD:** Million Standard Cubic Feet per Day

1.2. Definicions

- **Cru:** Petroli que es conserva en estat natural sense purificar o refinar.
- **Hidrocarbur:** Compost orgànic format per carboni i hidrogen.
- **Cracking:** Procés de transformació de determinades fraccions del petroli en unes altres de més lleugeres per l'efecte combinat de la temperatura, la pressió i a vegades un catalitzador.
- **Separador:** Dipòsit proveït de diverses sortides que permet de separar l'aigua i els gasos que acompanyen el petroli brut, en un pou petrolífer. El dipòsit treballa a pressió i també es designa com vessel.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

La idea d'estudiar el temps de despressurització dels equips d'una planta petroliera en una situació d'emergència va aparèixer com a proposta de millora del funcionament de l'empresa InProcess. L'empresa es dedica a maximitzar els beneficis de companyies petrolieres mitjançant la simulació i optimització dels processos.

Ens van plantejar estudiar el desenvolupament d'una part dels equipaments de la plataforma petroliera, en situació d'incendi, amb l'objectiu de crear una eina amb el software Excel que aportés informació útil sobre el temps de despressurització d'aquests. En primera instància, les dades eren escasses per tant, calia una feina de recerca i investigació per tal d'arribar a les dades necessàries i gestionar-les per resoldre el problema.

2.2. Motivació

La motivació principal del treball és descobrir el temps del què es disposa en una situació d'incendi abans que la plataforma petroliera no pateixi greus conseqüències, i evitar així catàstrofes com explosions i víctimes. Això implica estudiar el procés de despressurització i optimitzar-lo.

Resulta interessant crear una eina que faciliti la tasca d'una empresa com InProcess ja que la feina feta ajudarà a resoldre els casos d'estudi de manera més ràpida, fàcil i sobretot, acurada. Per això, una altra motivació d'aquest projecte és aconseguir un nou procediment que sigui útil i tingui com a finalitat la millora dels resultats obtinguts.

El treball també suposa un repte perquè cal trobar la informació adient i saber-la estructurar per obtenir les dades necessàries. De la mateixa manera, cal crear un mètode que faci arribar als resultats òptims, que reculli la informació i executi la metodologia de forma automatitzada. El desafiament i el fet de crear un projecte de principi a fi contribueixen positivament a començar la feina amb motivació i il·lusió.

Finalment, és molt satisfactori poder aplicar els coneixements estudiats i apresos durant el grau. Realment, la feina inclou aspectes de diverses assignatures i és interessant si més no poder aplicar-les en un mateix estudi. A més, el treball permet aprofundir i aprendre el temari en un entorn real.

2.3. Requeriments previs

Per realitzar el treball ha estat necessari aprendre sobre la indústria del petroli, des de les fases més inicials, com l'exploració i extracció del petroli, fins a la seva comercialització. S'ha requerit un estudi previ i en profunditat de fets històrics que han anat marcant i definint el que avui en dia es coneix com a la indústria petrolera. A més, s'ha hagut d'entendre el procés que es du a terme en l'element principal de l'estudi, el separador.

D'altra banda, els coneixements adquirits en assignatures com Resistència de Materials, Mecànica dels Medis Continus, Termotècnia i Gestió de Projectes han estat de gran utilitat per dur a terme aquest treball. Per últim, l'aprenentatge propi del software Microsoft Excel ha estat indispensable.

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

El projecte pretén optimitzar el temps de despressurització dels equips d'una planta petroliera en una situació d'incendi. A partir de l'estudi dels processos que es duen a terme a les instal·lacions d'una plataforma petroliera i dels sistemes d'actuació disponibles actualment en cas d'emergència, es vol conèixer el mètode més acurat per calcular el temps del qual es disposa abans no hi hagi una explosió.

Així doncs, el projecte té com a propòsit la creació d'un criteri de treball mitjançant el software Excel que permeti agilitzar la presa de decisions en aquestes situacions, i sobretot, donar resultats més exactes sobre els paràmetres esmentats anteriorment.

3.2. Abast del projecte

En quant a l'abast, el present projecte contempla el disseny i el càlcul de l'eina de treball de manera que un cop finalitzat, pugui ser d'utilitat per l'empresa InProcess i en un futur, aquesta estigui a disposició de les empreses que desitgin posar-la en pràctica. Tanmateix, la memòria no presenta un pla de comercialització ni està previst la seva venda.

4. Marc teòric

4.1. Context

El foc, les explosions i la contaminació ambiental són els problemes més greus i impredecibles de les indústries que processen hidrocarburs. Afecten a la vida i salut dels éssers vius i suposen grans pèrdues a nivell natural i econòmic per les empreses del sector. Tot i que aquest tipus de desastres han existit des dels inicis de la indústria petroliera a mitjans del segle XX, avui en dia encara no s'ha aconseguit la total eradicació de fets com aquests. En moltes ocasions, els accidents s'entenen com esdeveniments no previsibles, però el cert és que amb major o menor capacitat de reacció tots ho són. Si més no, sempre es poden reduir les conseqüències i l'impacte negatiu que tingui sobre l'entorn de treball.

Els estudis mostren que les principals causes dels accidents o fallades es poden categoritzar segons les següents àrees: ignorància d'informació, estalvi de costos, descuit i negligència, actuacions inusuals, o catàstrofes naturals. Per tant, la majoria de accidents reuneixen una característica comuna: l'error humà. Molt sovint, les persones tenen bones intencions a l'hora de realitzar una tasca correctament però la manca de coneixement i la temptació de decantar-se per processos més curts però menys efectius basats metodologies més fàcils així com les oportunitats econòmiques, poden fer que els resultats no siguin els adequats. Per aquest motiu, és prudent que les organitzacions disposin de sistemes de controls, i que es duguin a terme inspeccions regularment. Les indústries que corren més riscos d'operativa, realitzen auditories especials de seguretat de disseny de construcció i d'instal·lació.

Aquest treball tracta principis d'enginyeria per identificar i controlar un dels accidents associat a les instal·lacions de processament d'hidrocarburs, el foc. Totes les activitats que es duen a terme en una plataforma petroliera estan realitzades per humans i per tant, estan subjectes a errors. En una situació d'emergència, on la planta petroliera està exposada a un incendi, aquestes errades poden ser insignificants però també poden desencadenar la destrucció total de la planta. Per tant, cal introduir eines i mesures per tal de prevenir o reduir aquestes situacions.

4.1.1. Història de les petroleres

Els inicis de l'aparició del petroli com a substància d'ús en la societat i en les indústries es remunten al segle IV a.C. Es té constància que els primers pous de petroli van ser excavats a la Xina l'any 347 a.C. utilitzant perxes de bambú i era utilitzat per proveir fuel a la indústria de la sal. Tanmateix, no va ser fins a la dècada del anys cinquanta que el petroli cru va esdevenir una font d'energia arreu del món.

Per tal de contextualitzar el sector econòmic de la societat del moment, es fa un salt en el temps fins al segle XIX. Aquest va ser un període caracteritzat per grans canvis i una ràpida industrialització. La indústria de l'acer i del ferro van donar lloc a l'aparició de nous materials de construcció, que va venir acompanyat del descobriment del petroli. Aquest últim obria la porta a un nou mètode de producció i una nova font d'energia com mai s'havia conegut fins el moment.

A continuació, es detallen diferents esdeveniments rellevants a l'hora de destacar els factors que han portat a la indústria petroliera a convertir-se en un dels sectors més influents de l'economia mundial. A més, es relacionen amb fets accidentals que van provocar en el moment.

El primer pou de petroli que va ser comercialment conegut va ser excavat al 1859 a Titusville, Pennsylvania. Aquest pou es va incendiar, i més endavant va succeir el mateix amb un altre pou proper, també a "Oil Creek", juntament amb altres catàstrofes del mateix caire que van deixar alguns pous fins i tot impracticables. L'estat de Pennsylvania va establir les primeres lleis anti-contaminació per la indústria petroliera al 1863. Aquestes van ser confeccionades principalment per prevenir que el petroli cru fos llançat a rius al costat de zones industrials petroleres.

Al 1901 es va descobrir un nou jaciment a Spindletop, Texas, que va revolucionar la indústria petroliera, i en un any es van certificar més de 1500 companyies de petroli, convertint aquest en el principal fuel del segle XX i un pilar fonamental a la indústria petroliera. Aquest, però, tampoc va ser una excepció, ja que va patir diversos incendis catastròfics que van arribar a durar una setmana, tan sols 3 anys després del seu descobriment, tot i que cada any ja s'hi havia donat algun incendi.

Els incendis provocats per hidrocarburs van passar a ser un esdeveniment comú als pous de petroli, en els quals els principals desencadenants de les catàstrofes tenien o bé origen humà o eren deguts a desastres naturals. El problema del foc va ser acceptat com a part dels accidents de la indústria de manera que tampoc es va fer cap tipus d'esforç per redimir-los.

A mesura que la indústria petroliera va anar creixent i guanyant importància, així ho va fer la magnitud dels seus accidents, fet que va implicar un gran impacte financer. Alguns fets recents que exemplifiquen aquesta idea són l'incident de Flixborough (1974), el desastre d'Occidental Piper Alpha (1988) i el vessament d'Exxon Valdez.

Al 1933 la companyia americana Standard Oil Company fundada al 1870 per John D. Rockefeller a Cleveland (Ohio), considerada com la major refinera del món de l'època, va signar el primer contracte per explorar l'Àrabia Saudita. Aviat es van començar a construir oleoductes per la companyia des dels pous fins a les vies fèrries, ja que suposava un medi de transport barat i eficient.

En el moment en què els preus del petroli van començar a baixar, el pànic generalitzat va conduir a la creació de l'aliança del Standard Oil al 1971, que es va centrar no només en la millora del producte sinó també en la cerca i investigació.

El comerç d'exportació amb la costa Est es va estendre per les grans ciutats com Philadelphia, Nova York i Baltimore. Standard Oil i altres companyies van establir-hi refineries i es va començar l'exportació a Europa a partir del 1866 que també va significar grans canvis ja que era suficient per pagar els interessos de fiances dels Estats Units.

Després de la guerra civil americana (1861-1865) va aparèixer una nova companyia, Pacific Oil, a la costa Oest i es van explorar 2500 pous de petroli i 200 companyies a la zona. Quan Standard Oil va arribar a Califòrnia al 1900, ja hi havia set companyies diferents emergents i establertes, la més important de les quals era Union Oil Company.

Al 1901 va tenir lloc una de les majors vagues de la història a Spindletop, Texas. El fet va posar fi a qualsevol tipus de monopoli de la companyia Standard Oil, la qual va ser dissolta i diversificada en 34 companyies diferents l'any 1911. Es van especialitzar en diferents processos dins de la mateixa indústria com la producció, la refinera o la comercialització, entre d'altres. Aquest fet va venir acompanyat de l'aparició de 1500 noves companyies per tot els Estats Units. La producció americana de petroli va arribar a ser equivalent a la de la resta del món.

Al 1922, es va fundar la HPI, Hydrocarbon Processing Industry, una companyia americana, que es centrava en els avenços tecnològics i la optimització en el desenvolupament de processos. Es va popularitzar a través d'una revista mensual i actualment fan newsletter a la xarxes i donen a conèixer la tecnologia més puntera de la indústria petrolera. A partir d'estudis de casos reals, es dona feedback amb informació pràctica, que resulta molt útil per millorar les operacions de les companyies que hi estan subscrites. Professionals d'arreu del món de les indústries de la refinera del petroli, de processament de gas, petroquímiques i químiques, enginyeries i constructores s'han recolzat en HPI com a eina d'ajuda tècnica d'alta qualitat.

Tradicionalment, la HPI (Hydrocarbon Processing Industry) s'ha mantingut al marge en quant a invertir capital allà on no hi ha un retorn econòmic clar i immediat, ni en els que el retorn no és evident. Afortunadament, les pèrdues econòmiques degudes a incendis van ser relativament petites cap als anys cinquanta, fet que va contribuir a mantenir aquesta dinàmica. Fins al moment, no s'havia donat cap explosió als Estats Units que hagués comportat pèrdues de més de 5 milions de dòlars.

Va ser també aleshores quan es va començar a invertir capital per l'explotació de jaciments de petroli a la costa o a alta mar i construir-ne plataformes petroleres. Tanmateix, als inicis d'aquesta nova branca de la indústria petrolera mai es van destinar massa esforços a instal·lacions de seguretat preparades per explosions o incendis. La indústria petrolera es va donar a conèixer com un negoci que comportava activitats de risc, no només pels balanços econòmics, sinó també pels impactes ambientals. Tot i així, en aquella època encara no hi havia plena consciència d'aquest fet.

Amb l'arribada del segle XX, les ventes de gasolina per automòbils i més endavant per avions van comportar una ampliació del mercat molt extensa. Per fi, van trobar una utilitat directa al que fins al moment havia estat un producte derivat del procés de destil·lació.

Va arribar la Primera Guerra Mundial al 1914 i els Estats Units van proporcionar petroli a la banda dels Aliats i van cooperar amb el Fuel Administration. En acabar la guerra, es va fundar el American Petroleum Institute al 1919 que va esdevenir una entitat econòmica i de negocis molt influent.

Les firmes americanes van començar a invertir a l'Orient Mitjà, Sud-est asiàtic i Sud-Amèrica explotant arreu en busca de petroli. Mentrestant, també es seguien exportant grans quantitats de petroli d'Estats Units.

La segona Guerra Mundial va representar un moment àlgid per la indústria petrolera, ja que van aparèixer nous productes derivats del petroli fruit de la investigació i la recerca. L'esdeveniment va donar lloc a l'expansió de les instal·lacions industrials, la construcció de grans plataformes petroleres integrades i complexes petroquímiques. Es va incrementar el desenvolupament i ús dels dipòsits de gas. Aquests fets que van provocar un augment dels preus tant del petroli com del gas natural a partir dels anys setanta, disparant exponencialment el valor d'aquests productes i les seves instal·lacions.

En acabar la guerra, la indústria petrolera va esdevenir una qüestió prioritària tant per la política americana i com per l'estrangera. La segona meitat de segle va portar diverses crisis en les quals el petroli jugava un paper important. Europa travessava la primera crisi energètica, degut a l'escassetat de carbó.

Després de la dècada dels seixanta, la producció de petroli dels Estats Units va disminuir mentre la demanda seguia creixent i la indústria petrolera es va veure obligada a importar grans quantitats de petroli de l'Orient Mitjà i Veneçuela.

En l'actualitat, l'aparició de noves fonts d'energia ha conduït paulatinament a la coneguda crisi del petroli, en la qual s'ha vist que la oferta ha seguit en augment mentre que la demanda es progressivament menor. La combinació del desenvolupament de motors extraordinàriament eficients que funcionen amb energies alternatives, l'exigència de les regulacions del petroli i la recessió global del sector han contribuït a deslligar l'economia mundial de la indústria petrolera.

La indústria petrolera està doncs travessant un període d'oferta en excés. Al 2014, la U.S. Energy Information Administration estimava que l'augment de la oferta global de petroli i altres fuels doblava l'augment del consum d'aquestes substàncies. Així doncs, les companyies petroleres es troben en una situació en la qual han de treballar per mantenir els marges actuals i probablement tornar a definir els seus objectius, en quant a capital i eficiència operativa.

4.1.2. Seguretat en una situació d'emergència

La indústria petrolera ha donat lloc a explosions, incendis i contaminació des dels seus inicis. El progressiu creixement del sector ha contribuït a l'augment en la magnitud dels accidents, molts d'ells relacionats amb el foc. En aquest apartat es fa un estudi cronològic del paper que ha tingut la seguretat en aquest sector per tal de tenir una visió més completa de les situacions d'emergència i entendre fins on s'ha arribat a l'actualitat.

En l'antiguitat, el catastròfic incendi que va cremar l'antiga Roma l'any 64 a.C va fer que l'emperador Nero reconstruís la ciutat amb precaucions antiincendis com carrers amples per evitar arrossegament de brases, limitacions de les alçades dels edificis, utilització de materials ignífugs o millores en el subministrament d'aigua per apagar els incendis. Però tot i que des de l'edat antiga, els homes han buscat maneres de prevenir els incendis, tradicionalment les mesures de seguretat de les indústries de processament d'hidrocarburs han estat les mínimes requerides per les regulacions governamentals. A conseqüència de les habituals explosions i incendis, aquest sector es va començar a considerar arriscat no només per retorns econòmics sinó per la seguretat de les persones i el medi ambient.

L'augment dels preus del petroli i del gas en la dècada dels setanta, va fer incrementar el valor dels productes derivats del petroli lo qual va significar grans pèrdues financeres. En aquest context es va donar un dels accidents més destacables. El cas de Piper Alpha, era una plataforma petrolífera del mar del Nord.

Al 1988, la planta petroliera de perforació i de gas, va patir una sèrie d'explosions i incendis que van destruir completament la plataforma i va provocar més de 150 víctimes mortals, entre elles 2 persones de l'equip de rescat. A més, en el moment del desastre la plataforma produïa el 10% de la producció de petroli i gas del mar del Nord. Aquest fet es considera un dels majors desastres del sector d'extracció de petroli tant pel número de morts com pel cost econòmic de més de dos bilions de dòlars i per la confiança empresarial en la pròpia indústria petroliera.



Fig. 4.1. Explosió de la plataforma Piper Alpha

En les últimes dècades, l'augment de consciència degut a les catàstrofes passades i la fàcil disponibilitat d'informació virtual arreu del món provocant reaccions públiques, ha portat a les companyies de processament d'hidrocarburs a incorporar mesures de protecció. Les millores de prevenció de destrucció dels equips també poden ser beneficioses per la operativa de la planta. Per exemple, la instal·lació de vàlvules d'aïllament als extrems de les canonades són útils tant en situació d'emergència com per regular i aïllar el pas de la substància que circula durant els processos.

Actualment, les grans societats industrials d'aquesta àrea han de demostrar a cossos de regulació que les instal·lacions estan dissenyades i construïdes segons normes de seguretat. L'experiència industrial ha demostrat que és més eficient dissenyar un projecte que des de l'inici tingui en compte les mesures de protecció contra el foc i d'altres, que no pas realitzar revisions periòdiques i modificacions un cop els equipaments estan completament construïts. Igualment, durant el funcionament de la plataforma també s'estableixen mesures de control i avaluació de riscos.

Avui en dia, les empreses del sector valoren negativament la indiferència en quant a mesures de seguretat i es considera de vital importància integrar un equip responsable de la seguretat de la planta que gestioni amb eficiència les situacions d'emergència que es poden donar durant qualsevol operació de la plataforma.

4.2. Esquema dels elements d'una petrolera

4.2.1. Procés

Els jaciments de petroli es troben arreu del món tant en zones continentals com oceàniques, sovint a centenars de metres de profunditat. La indústria del petroli té com a missió trobar, desenvolupar, refinar i comercialitzar aquestes fonts per tal d'aconseguir un producte que retorni el màxim benefici als propietaris i inversors.

Avui en dia, el procés que segueix el petroli constitueix una cadena contínua i ininterrompuda amb fases ben diferenciades entre sí. En aquest apartat es defineixen detingudament cadascuna d'aquestes etapes per les quals passa el petroli cru des de la l'exploració del jaciment i extracció fins a la seva comercialització.

Exploració

La fase d'exploració consisteix en un seguit de proves geofísiques en les quals s'estudia el terreny en busca de reserves de petroli. La formació de petroli és deguda a la presència d'una fossa en la qual s'hi ha anat sedimentant material orgànic durant un llarg període de temps, i que s'ha anat colant entre els porus i forats de la roca terrestre. Aquestes dues condicions s'han de donar de manera simultània durant desenes o centenars de milions d'anys.

Per tal de predir la ubicació d'aquests indrets, s'utilitzen tècniques a partir de l'estudi de la superfície que permeten fer interpretacions sobre el subsòl, Això es complementa amb mostres que extretes mitjançant petites excavacions a través de les diferents capes de roca. D'altra banda, les ones de propagació del so, tant de reflexió com de refracció, s'utilitzen per tècniques sísmiques. Es poden arribar a conèixer detalls sobre l'estructura de les capes del subsòl i les seves densitats, donant pistes d'on es troben possibles bosses de petroli. Tanmateix, l'única manera de verificar realment l'existència de petroli és excavant un pou i arribant-hi.

S'estima que més del 60% del petroli mundial i un 40% de les reserves de gas natural es troben a jaciments carbonatats. L'Orient Mitjà, per exemple, compta amb aproximadament el 70% de petroli i el 90% de reserves de gas dins les mines.

Tanmateix, els carburs poden presentar propietats molt variades en quant a porositat, permeabilitat, flux, etc., formant petites seccions dins d'un mateix jaciment, dificultant doncs la seva caracterització. Per tal d'estudiar i entendre millor la naturalesa heterogènia de les roques que contenen els fluids i les propietats del seu flux, es té en compte la seva

formació, porositats i sovint fractures. Aquestes condicions requereixen un coneixement en profunditat de la saturació dels fluids, la distribució de les porositats segons la seva mida, la permeabilitat, la textura de la roca, el tipus de mina, o les diferents escales dins els sistemes de fractures naturals.

Aquestes fractures en la roca són esquerdes de centenars de metres en amplada i profunditat, el que es tradueix en àrees quilomètriques amb una riquesa elevadíssima en hidrocarburs. Això és a causa de que la seva permeabilitat pot arribar a ser milers de cops més gran que l'estructura de roca que es troba al seu voltant.

Les indústries centrades a trobar pous de petroli es poden trobar amb diverses adversitats un cop han començat el projecte, com per exemple una topografia i geologia inesperada o riscos no anticipats. Aquest tipus de problemes comporten un augment del cost de la cerca d'hidrocarburs, posant en dubte la seva viabilitat econòmica. Per això, es desenvolupen noves tècniques de treball i processos que ajuden a entendre el sistema petrolier d'una àrea concreta. Mitjançant la millora i desenvolupament de tècniques d'imatge sísmica en 3D d'alta resolució per tal de reduir la incertesa de l'exploració.

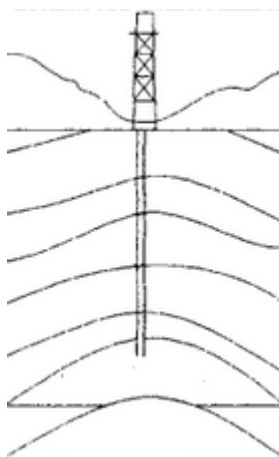


Fig. 4.2 Exploració de jaciment de petroli i gas

Extracció

L'excavació i posterior extracció del petroli és la culminació d'una sèrie de procediments amb la finalitat d'arribar a la realització del projecte. Així doncs, es considera oportú esmentar aquesta tasca del procés:

Es comença fent un estudi sísmic, en el qual es fa un estudi del subsòl per tal de conèixer la geologia del terreny. Enginyers, geòlegs i altres experts col·laboren per tal d'identificar la ubicació idònia que garanteix l'accés a la bossa de petroli.

A continuació es procedeix a preparar la zona. La ubicació és escollida en funció de diferents factors, com són la seguretat, l'ambient, propietats properes o l'accés amb vehicles i canonades. L'excavació de múltiples pous en una mateixa ubicació contribueix a reduir l'impacte ambiental i les possibles inconveniències a la comunitat.

L'excavació del pou és una operació que es porta a terme en 8-10 dies. Sovint s'arriba a una profunditat de 2.5 km aproximadament sota la superfície terrestre, on 1.5km són de roca impenetrable. Es construeixen múltiples capes protectores de ciment per tal de tenir total seguretat de que no entra ni surt res durant el procés.

Un cop es finalitza el pou arriben els equipaments necessaris per portar a terme les activitats finals, que duren entre 3-5 dies per pou. Es realitzen proves de pressió abans de començar les activitats esmentades per tal d'assegurar que el pou estigui estructuralment en bon estat i no hi hagi perill. Durant aquest procés, s'introdueix una barreja d'aigua, sorra i altres substàncies en menors proporcions al pou per tal de facilitar l'extracció del petroli.

Arribat a aquest punt, comença la producció i el control del pou, en el qual es retira tot aquell equipament extra que ja no és necessari. Només es conserva la boca del pou, els separadors i els dipòsits. El petroli que es produeix es trasllada al mercat via camions-cisterna o bé amb oleoductes. Tota l'aigua produïda també haurà de ser extreta del pou per ser eliminada. Durant aquesta fase, els pous estan controlats en tot moment a través d'equipament automatitzat de tal manera que si sorgeixen complicacions, es tanquen immediatament amb control remot. Com a precaució addicional, un operador analitza la situació in situ cada dia per tal de comprovar que tot l'equipament està en condicions òptimes de funcionament.

Per últim, un cop finalitzat el procés, es porta a terme la recuperació de l'entorn, en la qual la ubicació del pou és reduïda i vallada a una superfície menor. L'àrea que el rodeja serà recuperada amb vegetació i paisatge per tal de camuflar el pou pròpiament dit i ajudar a rehabilitar l'entorn al màxim possible.

Refinació

El petroli en el seu estat natural no té més usos pràctics que la seva combustió com a fuel un cop s'han després els components gasosos volàtils que formen part de la mescla que s'extreu del pou. Aquest primer procés de refinació, que separa els diferents components del petroli cru aconseguint fuel gas, gasos de petroli líquid, gasolines per a motors, querosè, dièsel, fuel i asfalt es du a terme en tres etapes principals que són: destil·lació, alteració de l'estructura molecular i purificació.

Depenent de les especificacions del cru i del tipus de demanda del mercat al qual es vol arribar, es procedeix a un mètode de refinació concret. Tot i això, el procés a seguir sempre compleix un patró amb diverses etapes imprescindibles. En primera instància, el cru és sotmès a una destil·lació crua. A continuació, és transportat mitjançant un sistema de canalització a alta temperatura de manera que es vaporitza parcialment abans no arriba a la torre de fraccionament. A la torre es disposen els gasos a la part superior, on es refreden i condensen els seus components més pesants. A continuació, el petroli és transportat a la unitat de mescles on es produeix les substàncies finals, mitjançant la mescla de components o diferents additius.

Generalment, el petroli cru s'escalfa fins a convertir-se en gas. Aquests gasos calents passen a la part inferior d'una columna de destil·lació i a mesura que es refreden van ascendint per la columna. Quan arriben a una temperatura menor que la seva temperatura d'ebullició, condensen i es transformen en líquids. Aquests líquids són drenats a altures específiques, de manera que s'estableix un rang de residus pesats a la part inferior de la columna, fuel i dièsel a les seccions intermèdies de la columna i gasolina crua a la part superior. Aquestes substàncies crues que s'anomenen "fraccions del petroli" passen a ser processades detingudament per tal de fabricar diferents productes acabats.

Encara que a totes les fraccions del petroli se'ls hi pugui trobar un ús específic, la gasolina és la que té major demanda amb diferència. De cada barril de petroli s'obté aproximadament un 30-40% de gasolina. Tot i això, es requereix una transformació de més del 50% del petroli cru per tal de satisfer les demandes reals de transport. Aquest percentatge extra es pot aconseguir a través de diferents mètodes.

El cracking n'és un i consisteix en trencar molècules pesades de petroli i residus. D'altra banda es poden canviar les estructures moleculars de les molècules de gasolina de més baixa qualitat donant lloc al què s'anomena "reformin". Per últim, també s'utilitza la isomerització que consisteix en reordenar els àtoms de cada molècula per tal de què amb una mateixa fórmula química s'obtinguin dues estructures diferents, com seria per exemple convertir el butà en isobutè.

La refineria separa el petroli cru en components que s'utilitzen per propòsits molt diversos, des de combustibles d'alt rendiment fins a plàstics. El petroli líquid no refinat és el que es coneix com a petroli cru, que pot tenir una gran varietat de colors des de groc fins a negre i pot incloure parafina, asfalt o una base mixta. El cru està compostat per milers de compostos químics diferents anomenats hidrocarburs, amb diferents punts d'ebullició entre ells. Així doncs, depenent de la temperatura a la que comenci l'ebullició, s'obté un petroli gas utilitzat per escalfar i produir plàstics. O bé, amb temperatures molt elevades, es pot assolir la consistència d'un petroli utilitzat per asfalt, coc de petroli – un sòlid carbonós derivat de les unitats de coquitació en una refineria de petroli o d'altres processos de craqueig- així com alquitrà.

La majoria de refineries, deixant de banda la complexitat que això suposa, segueixen una sèrie de passos per tal de dur a terme aquest procés: destil·lació, cracking, tractament i reformació.

El procés comença amb la destil·lació, en la qual es separen les molècules més lleugeres dels hidrocarburs de les més pesades en les torres de destil·lació del downstream, les torres altes i estretes característiques de les refineries.

Transport

El transport i emmagatzematge del petroli consisteix en el moviment del cru que es troba als pous de petroli fins a les refineries. Allà és on es processa i posteriorment es transporta als dipòsits on s'emmagatzema per tal de ser distribuït o preservat com a reserva d'emergència. En el seu estat cru, el petroli es trasllada de dues maneres diferents; en dipòsits per transports per aigües interregionals, o per oleoductes en els quals el petroli avança per sí mateix com a mínim durant una part de la ruta.

Un cop el petroli ja s'ha refinat, es transporta al mercat mitjançant un camió cisterna, un petrolier, un dipòsit, una via fèrria o amb més oleoductes.

De manera addicional al transport des del lloc de producció fins al lloc de distribució, la indústria del transport i emmagatzematge també intervé en el comerç mundial del petroli. Assessoren sobre el nombre de dipòsits necessaris o les rutes a seguir.

Es tracta d'una indústria amb un sistema complex, ja que està composta per propietaris independents, i aquest fet provoca una clara fragmentació amb un percentatge del 75% de propietats privades.

Els oleoductes juguen un paper important en el procés de transport ja que intervenen com a mínim en una part de la ruta. Un cop el petroli cru s'ha separat del gas natural, es transporta la matèria resultant a un altre transportador o directament a la refineria.

Comercialització

Per tal d'entendre el comerç d'una mercaderia o producte s'ha de tenir en compte el valor del contracte i el marge del què es disposa en quant a requeriments del mercat. La consciència d'aquests elements clau pot ser imprescindible per calcular els beneficis o pèrdues potencials.

El marge de les mercaderies canvia segons la volatilitat del mercat i l'actual valor del contracte. Depenent del mercat, el comerciant haurà de destinar quantitats diferents de diners pel marge.

Els contractes dels futurs agents del petroli cru es comercialitzen al New York Mercantile Exchange (NYMEX), Intercontinental Exchange (ICE), Dubai Mercantile Exchange (DME), Multi Commodity Exchange (MCX), India's National Commodity and Derivatives Exchange (NCDEX) and the Tokyo Commodity Exchange (TOCOM).

4.2.2. Conceptes

Com s'ha explicat prèviament, la indústria petrolera inclou el procés global d'exploració, extracció, refinació, transport i comercialització dels productes que deriven del petroli. L'American Petroleum Institute (API) divideix la indústria petrolera en tres grans sectors, l'upstream, el midstream i el downstream que es comenten a continuació.

1. Upstream

Aquest sector engloba l'exploració del sòl potencial per trobar pous de petroli cru amb la possibilitat d'excavar i dur a terme les operacions pertinents per tal de transportar-lo fins la superfície.

2. Midstream

Aquest tipus d'operacions són sovint incloses dins del sector downstream, tot i que recullen altres tipus de processos i poden constituir un sol sector apart. Seguidament, s'esmenten tasques d'aquesta àrea:

En aquest grup s'inclouen procediments com el "gathering", que consisteix en connectar petites productores de petroli i de gas amb canonades de baixa pressió. També cal connectar-los amb pous més extensos i canonades de llarga distància que arriben fins a les grans instal·lacions.

D'altra banda, el processament i refinació que es coneix com la transformació del petroli cru en productes preparats per ser llançats al mercat.

El transport a les instal·lacions de processament, i d'aquestes a l'usuari final, mitjançant oleoductes, dipòsit, camions, etc. Els oleoductes són el mètode de transport més econòmic i el més adequat per llargues distàncies, com per exemple, entre continents. Els petrolers, siguin camions cisterna o vaixells, també són molt comuns en el transport internacional.

Els serveis de proveïdors de midstream, proveeixen instal·lacions per l'emmagatzematge a les terminals dels sistemes de distribució de petroli. Aquestes es troben normalment prop de les instal·lacions de processament i refinació i estan connectades als sistemes de canonades. D'aquesta manera, es facilita les operacions d'enviament quan cal satisfer la demanda de producte.

Tanmateix, el midstream inclou aplicacions tecnològiques que fan referència a solucions per millorar l'eficiència dels processos característics d'aquest sector. Per exemple, per ajudar el flux per les canonades durant els processos de compressió, per detectar fuites, per automatitzar les comunicacions entre equipaments així com per aconseguir una monitorització més controlada.

3. Downstream

Aquest sector fa referència al procés de refinació del petroli així com la comercialització i distribució dels productes derivats del petroli cru.

4.2.3. Explicació de la situació d'emergència

La plataforma petrolera es troba habitualment a kilòmetres de la costa així com a zones continentals. Quan hi ha lloc condicions naturals com grans tempesta, un huracà, gel o foc es poden trobar en situació d'emergència. En tots els casos, s'ha de tenir en compte que el pla d'actuació i evacuació del personal, que és el més prioritari, és completament diferent al que es portaria a terme en una central que processi altres materials. Els serveis i els equips de rescat han de preveure les possibles dificultats d'accedir a la zona i la manera de posar fora de perill als treballadors al més aviat possible.

El fet de treballar en una plataforma en alta mar comporta més riscos i reptes a l'hora d'afrontar un perill com és un incendi. Els treballadors han d'estar especialment preparats per una situació d'emergència, ja que l'accés dels equips exteriors es pot veure condicionat per diferents factors. En una situació perillosa, els serveis també queden més reduïts en el cas que el pou i la planta es trobin al mar que no pas quan aquest es situa al continent.

Per aquests motius, resulta d'especial importància que els treballadors i empleats de la plataforma estiguin especialment entrenats per una situació de perill. Cal que puguin ser autosuficients per prendre decisions per tal de protegir la seva seguretat fins que puguin ser transportats. Normalment, el transport és per helicòpter el que afegeix més possibles complicacions durant el vol o l'aterratge.

En el cas particular d'un incendi, els serveis d'emergència han de treballar per tal de evitar l'expansió del foc per aconseguir apagar-lo. El protocol a seguir és aïllar la zona afectada, apagar tots els equips i fer ús dels extintors per tal de suprimir els vapors.

Depenent de les condicions de l'incendi, es duen terme accions diferents. Quan el foc es dona a l'exterior, els treballadors estan més preparats per controlar, estabilitzar i protegir les instal·lacions i l'ambient. És més senzill d'extingir el foc i procedir a la conservació de la propietat. En canvi, quan aquest es dona a l'interior, és més imprescindible rescatar el personal en perill i la posterior ventilació del local.

El sistema d'alarmes dona l'avís d'incendi a tot el personal a bord.

4.2.4. Limitacions i prevenció

Qualsevol plataforma petroliera està obligada a comptar amb una pla de prevenció del foc. En aquest s'exigeix que els treballadors sàpiguin identificar materials inflamables i de combustió, emmagatzemats al lloc de treball, així com les maneres de controlar els possibles accidents i riscos. El fet de completar i revisar un pla d'actuació redueix considerablement la probabilitat de què es prengui foc i s'escampi.

Procediment, Programa i/o Requeriments d'equipament

Preparar un pla de prevenció d'incendis ha d'incloure:

- Majors perills que comporta un incendi, procediments a seguir per l'emmagatzematge, identificar fonts d'ignició i controls, i determinar equipaments necessaris de protecció contra el foc;

- Procediments per controlar els materials inflamables i combustibles rebutjables;
- Manteniment dels equips que generen calor per tal de reduir les fonts d'ignició;
- Noms i posicions laborables de les persones que duen a terme el manteniment dels equips per tal de reduir la possibilitat d'un potencial incendi;
- Noms i posicions laborables de les persones que controlen els perills relacionats amb el petroli.

Requeriments d'entrenament

- Els treballadors han d'estar informats sobre els perills d'incendi més rellevants i els procediments de protecció individual en el pla de prevenció d'incendis, en el qual se li és assignat una tasca.

Serveis i sistemes de suport

Els sistemes de serveis d'emergència són indispensables en una plataforma petrolera. A continuació es detallen alguns dels més comuns.

- Bombeig d'aigua: en el passat, han desencadenat grans catàstrofes a causa d'una mala localització. Quan els sortidors es troben prop de l'origen del foc, aquest servei queda totalment inutilitzable des d'una primera fase de l'incendi. Per aquest motiu, cal situar-les estratègicament. En cap cas han de trobar-se en indrets especialment vulnerables sense mesures de protecció o que no comptin amb una font d'aigua de suport. Els llocs amb més probabilitats de risc, han de comptar amb instal·lacions independents entre elles per tal de que si una queda afectada pel foc, es disposi d'altres sortidors propers de suport.
- Subministrament elèctric: l'energia elèctrica és indispensable pel funcionament dels dispositius d'emergència. Quan les instal·lacions o la xarxa de distribució no és fiable o té risc de ser vulnerable, s'ha de proveir una font alternativa per substituir els equips d'emergència. El cablejat elèctric es veu directament afectat en un foc, fet que inhabilita els motors de les bombes d'aigua, les bateries per les llums d'emergència, etc. Per aquest motiu, es proveeix d'una font alternativa de subministrament elèctric amb la finalitat de complir amb el requisits d'emergència donada una situació d'incendi.
- Dispositius de comunicació: en cas d'accident, la comunicació tant interna, entre el personal de la plataforma, com externa, amb els serveis de rescat, és de vital importància. Serveix per donar alertes i avisos. Els sistemes de comunicació no poden tenir cap fallada per això sempre s'alimenten d'una font elèctrica i un pla alternatiu d'activació en cas de fallar la primera.

Eines d'assistència

- Standard – 20 CFR 1910.39 Fire Prevention Plans
- Directive – CPL 02.01.037 Compliance Policy for Emergency Action Plans and Fire Prevention Plans
- E-Tools – Evacuation Plans and Procedures – Fire Prevention Plan Requirements
- Other Agency Resources – National Fire Protection Agency (NFPA) Code – Life Safety Code NFPA 101

4.3. La despressurització i els Pressure Vessels

4.3.1. El separador o Vessel

De tots els processos que realitza una plataforma petrolera, aquest treball es centra en el primer pas de la refinació del petroli. Un cop extreta la substància dels jaciments de petroli i gas natural, s'utilitza un dipòsit separador per refinar-la i obtenir el cru.

El separador o vessel, s'utilitza a la indústria petrolera per separar mescles de gas i líquid. És un recipient tancat d'acer que treballa a pressió en el qual es separen dues o tres fases del fluid produït als pous. El mètode es basa en la diferència de densitats dels diversos components de la mescla i el principi de gravetat. Un separador trifàsic separa l'aigua i el gas del cru.

En primer lloc, la mescla entra al separador per la vàlvula d'entrada i xoca amb el desviador de flux. Un cop a l'interior del contenidor, el component de més densitat, l'aigua líquida (densitat = 1kg/l), queda dipositat a la part inferior. A sobre es situa el cru (densitat = 0,7 a 1kg/l), i a la part superior resten els gasos.

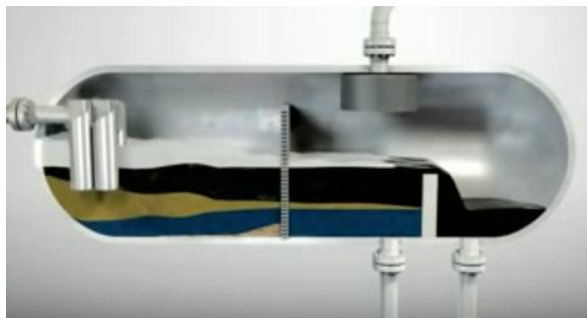


Fig. 4.3.1.1 Separador Trifàsic horitzontal

La mescla travessa un filtre, per separar les impureses sòlides de la substància, i posteriorment queda limitada per una exclosa. El nivell de mescla va augmentant a mesura que entra al separador fins que aquest supera l'alçada de l'exclosa. D'aquesta manera el cru vessa separat de la resta d'elements i queda emmagatzemat a una zona del vessel. Per obtenir cada substància s'utilitzen vàlvules.

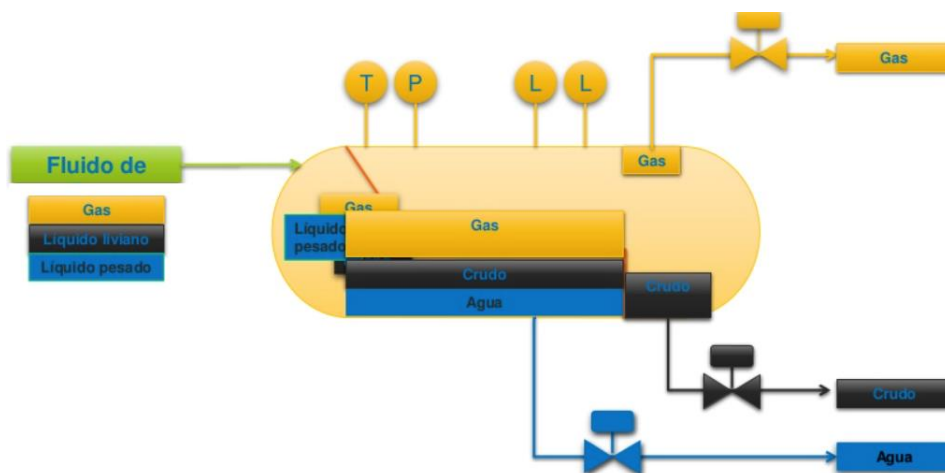


Fig. 4.3.1.2 Substàncies del Separador horitzontal

- La vòlvula de sortida d'aigua: s'activa quan el nivell d'aigua del separador està per sobre d'una alçada. D'aquesta manera s'assegura que el nivell d'aigua mai superarà l'alçada de l'exclosa.
- La vòlvula de sortida del cru: s'activa a partir d'un nivell de cru al tanc. Permet obtenir la substància i evitar que aquest superi alçades no desitjades.
- La vòlvula de sortida de gas: permet la sortida de gas i és un sistema de control de la pressió del separador.

Les variacions en el nivell de fluid afecten a les capacitats del separador i la separació és més senzilla quan és bifàsica que no pas trifàsica. Per això, existeixen altres elements que faciliten el procés separació com:

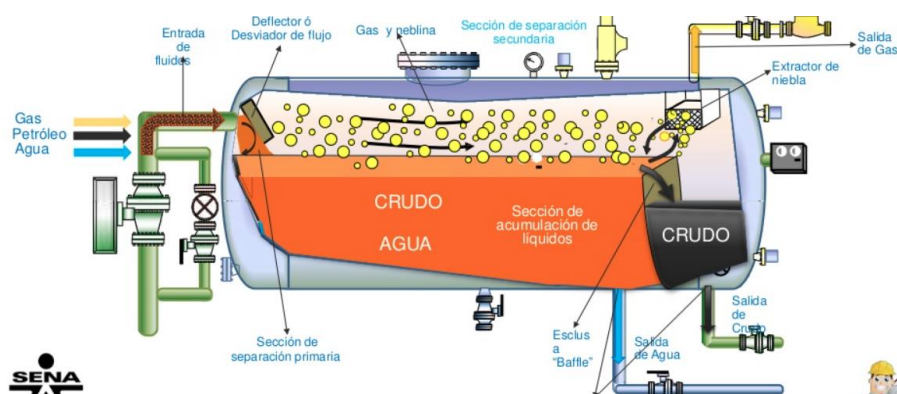


Fig. 4.3.1.3 Elements del Separador horitzontal

- **Extractor de boira:** Separació de gotes de líquid del gas. Es col·lecten a una superfície on s'acumulen formant gotes més grans que drenen a la zona d'acumulació de líquids.
- **Trencador de vòrtex:** Es localitzen a les sortides d'aigua i cru amb la finalitat de contrarestar l'efecte remolí i evitar que el gas sortir per les vàlvules de líquid.

El vessel recull el petroli i gas natural de la fase d'extracció, per tant, conté una mescla d'hidrocarburs. La ignició dels combustibles gas a altes temperatures pot provocar greus explosions. A diferència d'altres combustibles, aquests obtenen temperatures molt elevades en pocs minuts i les conseqüències són molt majors en magnitud i intensitat. Per aquest motiu, la situació d'emergència que es treballa en aquest projecte és precisament quan l'incendi es produeix a prop del separador i fa incrementar la temperatura d'aquest.

4.3.2. Associacions i Data

Com s'ha vist, les instal·lacions de processament d'hidrocarburs exposades al foc corren greus riscos de trencament d'equips i d'explosió. Per aquest motiu, a la indústria del petroli van aparèixer sistemes i organitzacions que desenvolupaven estàndards per una pràctica segura.

L'**Institut Americà del Petroli (API)** [6] és la única associació nacional que representa tots els aspectes de distribució per la indústria del petroli i gas natural d'Estats Units. Posseeix més de 650 membres corporatius que provenen de tots els sectors de la indústria i de companyies petroleres grans i petites. Són productors, refinadors, proveïdors, operadors de canonades i transportadors marítims, així com empreses de serveis i subministraments que donen suport a totes les àrees de la indústria.

Des de fa més de 85 anys, l'API a liderat el desenvolupament d'equipaments i estàndards del petroli i la petroquímica. Recerquen, mantenen i publiquen estadístiques i dades que es serveixen d'indicadors per les empreses del sector. Concretament, manté més de 600 estàndards i pràctiques recomanades moltes de les quals s'han inclòs en les regulacions federals.

La **National Fire Protection Association (NFPA)** [7] és una organització fundada als Estats Units l'any 1896 encarregada de crear i mantenir normes i requisits mínims per la prevenció i protecció contra incendis. El personal està format per bombers, governs, consumidors i experts del foc els quals han desenvolupat més de 300 codis. Formen una de les fonts de dades d'accidents més disponible i descriptiva de l'industria del petroli. La informació permet comparar i aprendre dels errors del passat.

La majoria de normes i pràctiques reconeixen la necessitat de despressurització d'equipaments de les plataformes petroleres per evitar riscos. Un dipòsit sota pressió,

anomenat pressure vessel [2], és un recipient dissenyat per contenir fluids a una pressió molt major a la pressió ambiental. Aquesta diferència de pressió entre l'interior del dipòsit i l'exterior és perillosa ja que pot generar una explosió de la planta. Aquesta ha estat la causa de nombrosos accidents laborals durant la història. Per aquest motiu, actualment el disseny, la fabricació i la manipulació d'aquests contenidors estan regulats per legislació d'enginyeria.

Les característiques i normativa del dipòsit varien segons el país però en tots es requereix definir paràmetres per garantir la màxima seguretat com la pressió, temperatura i corrosió admissible, el factor de seguretat, tests de resistència a la fractura entre altres. Existeix una legislació que han adoptat diversos països per dipòsits sota pressió de mides i pressions determinades. A l'*American Society of Mechanical Engineers (ASME)* [8] aquest codi s'anomena Boiler and Pressure Vessel Code (**BPVC**). Un inspector autoritzat avalua qualsevol vessel construït. A més, cada vessel conté la seva informació d'ús pertinent com la màxima pressió, temperatura assumible, el fabricant i número de registre.

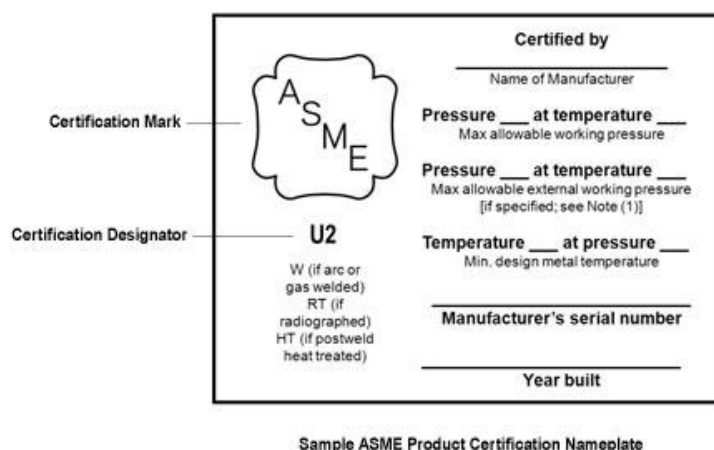


Fig. 4.3.2.1 Placa de característiques d'un pressure vessel

El codi BPVC realitzat per l'ASME es crea a principis del segle XX com a conseqüència de diverses explosions greus a l'estat de Massachusetts que van resultar amb un alt nombre de morts i ferits. La certificació està formada per les normes i els estàndards que governen el disseny, construcció i la inspecció dels components de calderes i dipòsits sota pressió.

Al 1916, una mica més tard de la primera publicació de '*Rules for the Construction of Stationary Boilers and for Allowable Working Pressures*', el que actualment es coneix com BPVC, ASME va començar a oferir certificats a les empreses de la indústria. Concretament, els certificats feien referència als equipaments de pressió i garantien la qualitat dels seus sistemes. Des d'aleshores, ha estat pionera en el desenvolupament de nous estàndards tot mantenint el compromís de millorar la seguretat pública. Avui en dia, hi ha més de 6800 titulars de certificats al programa d'ASME BPVC i s'han fet més de 100000 còpies del BPVC utilitzades en 100 països diferents.

4.3.3. Mètodes per prevenir la ruptura del separador

Les fallides dels dipòsits de pressió que contenen hidrocarburs poden desencadenar dos perills principals. Per una banda, quan el vessel es trenca produeix projectils voladors que tenen prou impuls per afecta a altres àrees. A més, s'allibera grans quantitats de gasos de característiques inflamables que augmenten les proporcions dels incidents. En segon lloc, l'alliberament de gasos d'un dipòsit pressuritzat pot provocar un núvol de gas inflamable. En les proporcions de substància adequades, mesclat amb l'aire i en presència d'una font d'ignició comença la combustió que pot acabar resultant en una explosió. Per tant, cal extrema precaució a l'hora d'alliberar hidrocarburs de contenidors sota pressió.

Uns dels principals mètodes de prevenció y reducció de pèrdua de potencials d'aquest tipus d'accidents són l'aïllament d'hidrocarburs i sistemes d'extracció. Els sistemes coneguts com **Esoteric Emergency Shutdown System (ESD)** proporcionen parades d'emergència a instal·lacions petroleres, ja sigui de forma manual, remota o automàtica. ESD es diferencia de la resta de sistemes de seguretat perquè dona resposta a situacions de perill que poden afectar a la planta completa. El mètode consisteix en finalitzar ràpidament la operació d'un procés i aïllar-lo de les connexions i fluxos entrants. Així es redueix la probabilitat de què els esdeveniments no desitjats es produeixin i evita que creixin.

Els equipaments ESD estan dissenyats per minimitzar les conseqüències d'una situació d'urgència com la fuga de hidrocarburs i els incendis en contacte amb àrees amb hidrocarburs. Inclouen una vàlvula de parada d'emergència i un actuator. Mitjançant senyals i sistemes de control la vàlvula té diverses accions per evitar riscos: tancament d'equips, aïllament d'equips elèctrics, aïllament d'hidrocarburs, aturar fluxos d'hidrocarburs, tancament de portes contra incendis, despressurització i purga.

L'objectiu de les activitats és protegir el personal, les instal·lacions i la prevenció de l'impacte ambiental. D'altra banda, és impossible controlar la connexió de canonades durant l'incident ja que hi ha un subministrament de combustible 'il·limitat' dels dipòsits subterranis i la substància en contacte amb el foc podria acabar destruint tota la fàbrica. En conclusió, les plataformes que no disposen de ESD o de sistemes de poca qualitat, es consideren plantes d'alt risc.

Habitualment els dipòsits que processen hidrocarburs disposen d'unes **vàlvules de pressió de seguretat (PSV)** per disminuir la pressió interna d'aquest quan la pressió és massa alta segons el disseny del contenidor. La finalitat de la PSV és protegir el vessel de trencaments degut a la sobrepressió generada per les condicions del procés i l'exposició al calor del foc que provoca una vaporització addicional a l'interior del dipòsit. Des del punt de vista de l'enginyeria s'assumeix que aquests fets no varien la tensió de ruptura de l'acer del vessel sempre i quan la temperatura sigui propera a la del disseny.

En canvi, quan el material està exposat a altes temperatures, la tensió de ruptura del material disminueix ràpidament i la capacitat per contenir la pressió de treball es deteriora en pocs minuts. Per aquest motiu, les vàlvules de seguretat s'activen quan els equips estan aproximadament al 120% de la pressió de treball en condicions d'incendi. En una situació normal, la PSV s'activa quan la pressió està al 110% de la operativa, per prevenir sobrepressions provocades per ones de xoc per sobre de la pressió atmosfèrica habitual, no pas per alleugerir pressions d'operació.

Per prevenir concretament la possibilitat de trencament dels vessels, hi ha diversos mètodes disponibles: despressurització, aïllament, refrigeració per aigua i drenatge són dels més utilitzats.

Existeix una altra metodologia generalitzada que determina de manera qualitativa l'efecte dels incendis d'hidrocarburs a la resistència dels dipòsits de pressió construïts amb acer. Aquesta consisteix en estimar la durada de temps que triga en trencar-se el dipòsit de pressió i per tant, esbrinar la necessitat d'introduir més mesures de protecció o menys.

Per decidir el temps de seguretat fins el trencament del dipòsit l'associació API va elaborar assajos i tests d'hidrocarburs, la majoria amb combustibles exposats a focs. Les dades es van representar en paràmetres de: la **temperatura d'exposició del foc**, **tensió de ruptura** del dipòsit de pressió, **temps de ruptura del vessel**.

- Pel que fa a la **temperatura** d'exposició del foc, es considera que els materials ignífugs fallen quan els aparells superen els 649°C (1200F). Les pràctiques de l'API no defineixen la temperatura superficial dels materials exposats al foc amb la què es podria calcular la tensió de ruptura. Tot i així, facilita dades de temperatures entre 482°C a 760°C en increments de 38°C, per determinar el temps de ruptura. En realitat, els focs relacionats amb petroli poden arribar a temperatures tan altes com 1300°C tot i això, la mitjana cremen a 1000°C a causa dels diversos factors involucrats com el vent, la geometria o el refredament del cos cremant. Per aquest motiu, s'ha d'estudiar el tram de temperatures més adequades per l'acer del dipòsit exposat al foc. Generalment, s'escull 649°C com a punt de partida ja que correspon a la requerida per materials ignífugs.
- Fent referència a la **tensió de ruptura**, l'ASME facilita una fórmula per definir a quina tensió es trenquen els dipòsits sota a pressió en funció de les seves dimensions i la pressió de treball.
- El període de **temps** més curt abans de que un vessel es trenqui és de 10 minuts. No s'han de calcular durades menors ja que històricament s'ha comprovat que el creixement d'incendis d'hidrocarburs no es dona de manera immediata.

A més, s'ha de tenir en compte que el dipòsit pot estar **aïllat**. Segons la qualitat de l'aïllant, el gruix i la facilitat d'increment de temperatura que presenti, els paràmetres esmentats anteriorment varien. Habitualment, s'assumeix que un aïllant lleuger redueix l'input de calor aproximadament a una tercera part de l'escalfor original. Per tant, les característiques de l'isolador poden augmentar el període de temps abans de la ruptura del dipòsit de pressió. Aquest increment de temps es pot afegir al temps que triga l'acer en afeblir-se i arribar a la ruptura. També afecten a aquest temps l'aïllament, material o ESD, de les canonades que comuniquen amb el dipòsit.

De la mateixa manera, estàndards de la NFPA asseguruen que els dipòsits que inclouen un sistema de refrigeració fiable i segur poden arribar a substituir la despressurització com a mètode de prevenció de la ruptura del vessel. Sempre i quan el sistema no es deteriori fàcilment davant de l'exposició al foc.

Per últim, incorporant un drenatge altament eficaç a sota del contenidor es pot reduir l'aportació de calor degut a l'escorrentia de líquids inflamables. En conseqüència, incrementa el temps de ruptura. La NFPA 30, proporciona salvaguardes per reduir riscos associats a l'emmagatzematge, manipulació i ús de líquids inflamables i combustibles. Juntament amb la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), estipulen dimensions de drenatges que poden arribar a doblar el temps de ruptura d'un dipòsit no aïllat.

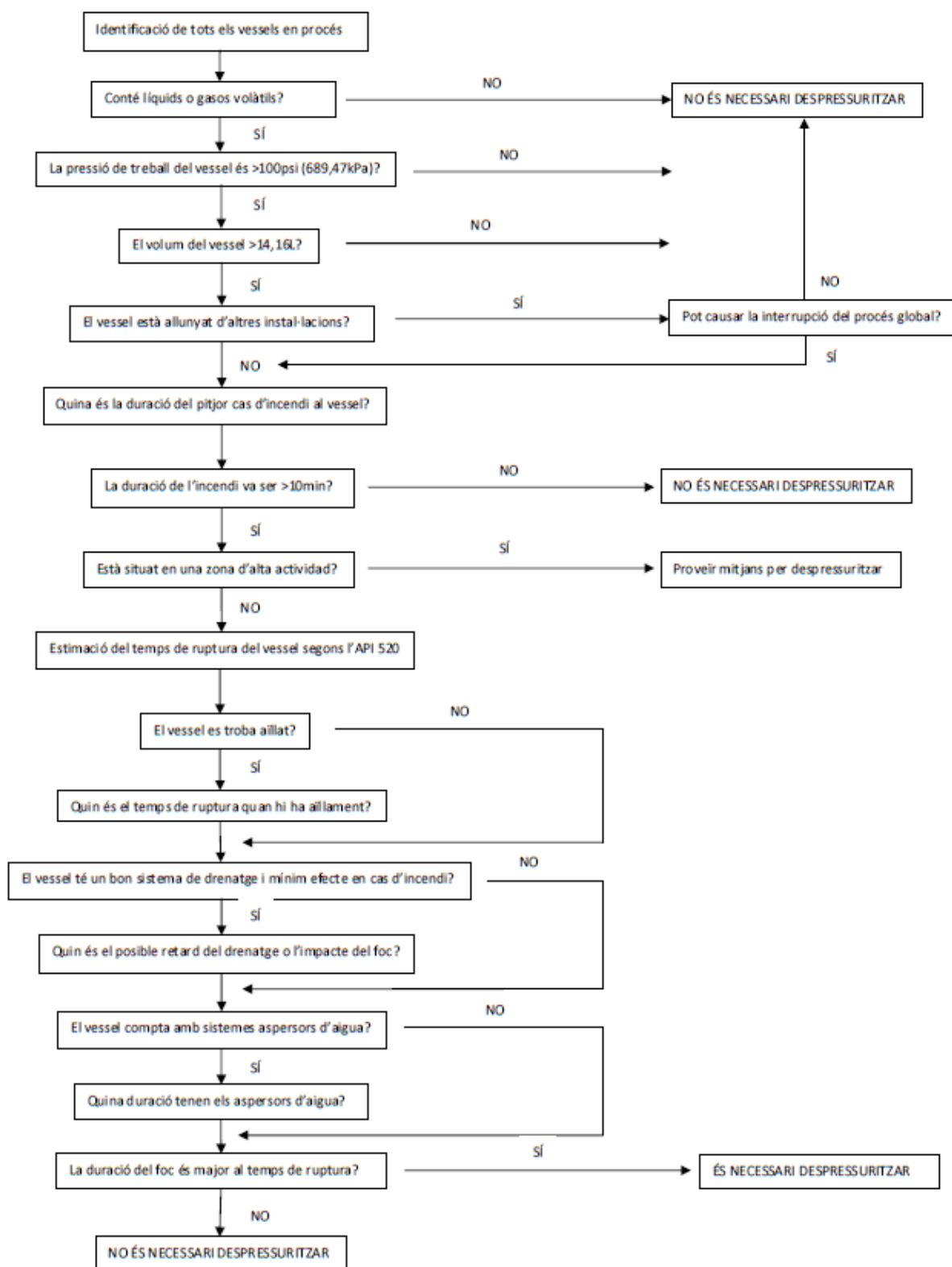


Fig. 4.3.3 Flow Chart del Procés de despressurització

L'avantatge principal que presenta la despressurització comparat amb les altres pràctiques és que es pot utilitzar en circumstàncies molt diverses i s'adapta als requeriments de l'usuari. Tot i així, es necessari conèixer l'efectivitat de la resta de mesures de mitigació per elaborar un criteri de despressurització apropiat.

4.3.4. Mètode de Despressurització

L'objectiu de la despressurització, tal i com s'explica detingudament en el llibre *Handbook of Fire and Explosion Protection* [3], és prevenir que el vessel arribi a la ruptura quan està exposat al foc, disminuint la pressió a l'interior del dipòsit deteriorat per l'elevada escalfor. En segon lloc, impedeix la major escalada d'incendis així com minimitza l'impacte del propi dipòsit.

Normalment, la despressurització de dipòsits de pressió en situació d'emergència s'activa automàticament mitjançant instal·lacions ESD de nivell 1. Aquests sistemes són els que s'utilitzen en la interfície més perillosa de les plataformes amb més risc com les petroleres o nuclears. S'encarreguen de la parada de tota la planta i ha d'estar completat en menys de 15 minuts. Concretament, el contenidor de pressió cal que es despressuritzi com a mínim al 50% de la pressió de treball de disseny. Els vapors de les vàlvules de despressurització, són enviats a un col·lector de purga i després a una torxa per eliminar-los d'una manera segura i minimitzant l'impacte al medi ambient. Si no és així, existeixen riscos d'alliberament de d'hidrocarburs a alta pressió que resten als dipòsits i canonades.

Els dipòsits que principalment requereixen despressurització són aquells que operen a pressions superiors a 690 kPa. Contenen líquids volàtils amb pressions de vapor superiors a l'atmosfèrica i requisits operatius com purga del compressor. Per últim, es requereix aquest mètode sempre que, en condicions d'incendi, el dipòsit es debilita en poques hores per sota de la tensió de ruptura. Per altra banda, no es necessari utilitzar la disminució de pressió si el contenidor treballa amb menys de 907 kg de vapors. Tampoc es requereix quan el dipòsit exposat al foc, resisteixi nombroses hores degut a alguna de les mesures esmentades prèviament. Finalment, aquells dipòsits en els quals la ruptura no implica un perill pels treballadors ni per les instal·lacions no és prioritari realitzar la despressurització.

El Blowdown es una tècnica semblant a la despressurització però treballa amb líquids en lloc de gasos. Elimina el contingut de líquid del dipòsit de pressió i dels equipaments per evitar que contribueixin en una explosió. Els líquids mai poden ser enviats a unes instal·lacions dissenyades per substàncies gasoses. Per tant, es necessari emmagatzemar-

los en tancs, clavegueres i àrees preparades per contenir grans quantitats de líquids.

Tot i això, s'intenta evitar zones tancades ja que els gasos arrossegats podrien trencar el contenidor. Per altra banda, també s'ha d'evitar la ventilació directa d'hidrocarburs ja que contaminen l'ambient i suposen una pèrdua de fuel gas. Per aquest motiu, dins les indústries petrolera i química, la tècnica més econòmica i segura és eliminar els excessos d'hidrocarburs lleugers mitjançant la crema. El principal objectiu de la flamarada és transformar els gasos tòxic, corrosius i inflamables en gasos que estan acceptats per alliberar al medi ambient.

4.3.5. Sistemes de Despressurització en 15 minuts

Hi ha moltes companyies de gas i de petroli que duen a terme la despressurització d'emergència de manera que en **15 minuts el dipòsit es troba al 50% de la pressió de treball** dissenyada. Molts enginyers han acceptat aquest criteri sense confirmar la tensió admissible del dipòsit durant el procés de despressurització.

L'API RP 521 confirma que un sistema de despressurització ha de permetre reduir la tensió del dipòsit per sota de la tensió de ruptura. Les dimensions habituals dels dipòsits fan que normalment el procés impliqui reduir la pressió dels equipaments a la meitat de la pressió de treball del dipòsit en 15 minuts aproximadament. Però en realitat el fet imprescindible és que la tensió del dipòsit no superi la de ruptura de manera que el dipòsit no falli. El període de 15 minuts es va donar com a exemple per un cas particular d'un dipòsit exposat a condicions de foc. Per tant, es pot calcular el temps de despressurització adient per cada cas i en aquest treball es crearà una eina per obtenir-lo.

El temps de despressurització no és fix, sinó que depèn de diversos factors. A continuació, es presenten els principals paràmetres que cal tenir en compte i a l'apartat 6 es tractaran de forma més tècnica:

Els vessels amb parets internes no molles, que només contenen gas, tenen com a característica que la calor continguda a la paret és baixa per dos motius: la resistència de la substància i les propietats del material aïllant. En circumstàncies d'incendi, l'escalfor del foc augmenta la **temperatura** de la superfície exterior del dipòsit aïllat internament. La tensió superficial màxima admissible disminueix de valor amb l'increment de temperatura ja que creix l'agitació tèrmica provocant una disminució dels efectes de cohesió de les molècules. Transcorregut un temps, la calor és suficientment alta per trencar la paret del dipòsit i provocar una explosió.

L'**espessor** també és un element destacable en la determinació del temps de despressurització, ja que està relacionat amb la temperatura. Un sistema de despressurització ha d'estar dissenyat perquè la tensió resultant de la pressió interna i les condicions del dipòsit sigui inferior a la tensió

màxima admissible.

Tenint en compte això, s'ha comprovat que els contenidors de parets de gruixos superiors (90 mm o més) poden suportar una despressurització produïda en més de 15 minuts. Les parets de gruixos entre 30 mm i 90 mm exigeixen una despressurització de 3 a 15 minuts. En canvi, els dipòsits de parets primes han d'experimentar 3 minuts de descompressió.

La gràfica següent mostra la relació entre el gruix i la temperatura, a l'eix de les ordenades es troben les temperatures i a les abscisses el temps transcorregut des de l'inici del incendi en minuts. L'augment de temperatura de les parets exteriors depèn del gruix.

Per exemple, es pot observar que una paret de 25 mm de gruix triga 12 minuts, en contacte amb l'incendi, en assolir una temperatura de 593°C en canvi, un gruix de 12,7 mm, amb el mateix període de temps, assoleix una tensió de més de 760 °C. Els materials de menors gruixos assoleixen ràpidament una temperatura major i per tant, arriben a la tensió màxima admissible en menys temps. Per sobre d'aquesta el material es fractura. A la figura observem que cada corba representa un dipòsit d'acer de gruix diferent.

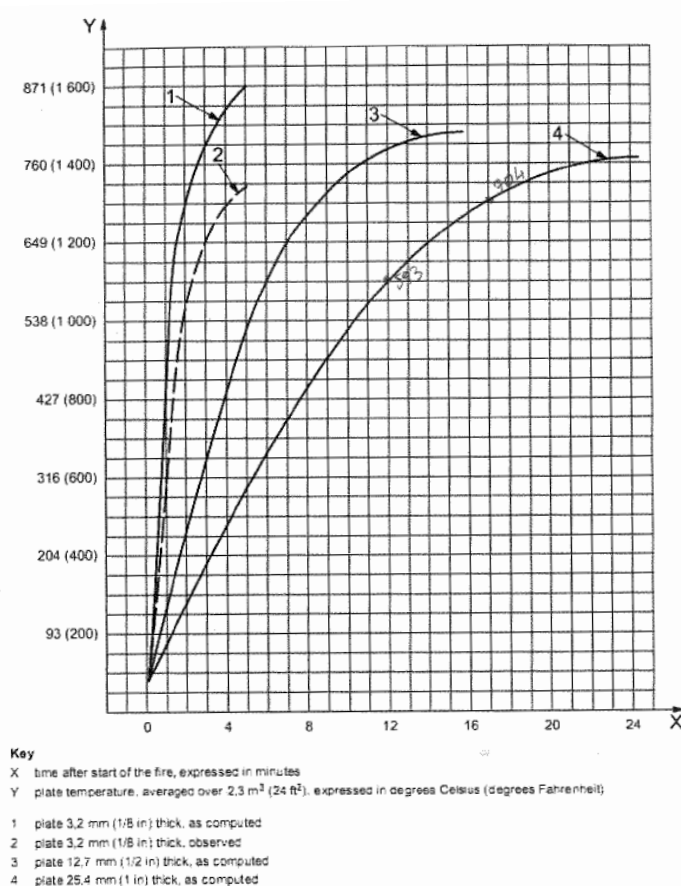


Figure 1 — Average rate of heating steel plates exposed to open gasoline fire on one side

Fig. 4.3.5 Gràfica Temperatura – Temps d'exposició al foc

La reducció de **pressió** permet fer la situació més controlable. A l'hora de dissenyar un sistema de despressurització cal tenir en compte que nombrosos hidrocarburs es refreden quan disminueix la pressió. Pel que fa als equipaments, la ruptura del dipòsit separador és més greu que no pas la ruptura de les canonades. A més, les vàlvules han de romandre operables durant el temps d'emergència o com a mínim fallar de manera que quedin en posició oberta. Els equips poden arribar a treballar a 1700 kPa.

La **tensió** interna també està relacionada amb la pressió a l'interior del dipòsit. Per tant, la tensió és funció de la pressió, la temperatura i el gruix del material. Es pot concloure que el temps de ruptura del dipòsit dependrà d'aquests tres paràmetres.

En situació d'emergència, l'augment de temperatura generat pel foc fa disminuir la tensió de ruptura del material del dipòsit. El control d'un procés de despressurització permet reduir la pressió interna i per extensió, la tensió del dipòsit que conté hidrocarburs. Així s'aconsegueix que el període per assolir la tensió de ruptura s'allargui. En conseqüència, es disposa de més temps per dur a terme el protocol d'emergència com l'evacuació de la planta, activació de les mesures de seguretat o l'aïllament d'àrees no afectades. A més, la despressurització és una font de fugida d'hidrocarburs i per tant, protegeix contra la possibilitat d'afegir més material combustible al foc, disminuint la gravetat de l'incident. Finalment, això redueix la durada del foc i prolonga la vida del dipòsit.

5. Característiques de l'estudi

Amb aquest treball es vol donar solució a la necessitat de conèixer el temps de seguretat d'una planta petroliera i evitar els riscos relacionats amb situacions d'incendi. L'objectiu del treball és elaborar un criteri adient que proporcioni el temps de seguretat de la plataforma un cop s'inicia un incendi a prop del separador. Per aconseguir-ho, cal entendre els dos sistemes principals del treball: el dipòsit separador i el nou criteri que es recull en una eina.

5.1. Estudi de Riscs

L'administració de riscos ofereix també vies de protecció. L'anàlisi de riscos és un conjunt de tècniques que s'utilitzen per avaluar el nivell de perillositat d'un element. És una eina que identifica la probabilitat d'un incident, les seves conseqüències i valora les seves implicacions negatives. El procés bàsic adoptat per una avaluació formal de riscos a la indústria del petroli, tant per instal·lacions existents com per nous projectes, consta dels següents passos:

1. Definició de les instal·lacions: Descripció general de la planta com els inputs y outputs, produccions, nivells operatius, procés bàsic de control de sistemes, sistemes de parada (ESD), material perillós entre altra informació.
2. Identificació dels processos: Llistar les activitats, d'emmagatzematge de combustible, processos químics així com tots els que es consideren com peril·losos.
3. Detecció de possibles incidents: identificar els escenaris que puguin causar un incidents.
4. Estimació de la freqüència dels esdeveniments: Examinar les probabilitats de circumstàncies peril·looses.
5. Determinació de les conseqüències: Detallar las possibles repercussions.
6. Impacte: Desenvolupar una estimació de la gravetat de los riscos segons els danys, lesions, interrupcions econòmiques, impacte ambiental i reacció pública.
7. Resum de riscos: Recull dels possibles perills.
8. Efectes de les mesures de seguretat: Avaluació de les mesures de protecció.
9. Revisió dels criteris d'acceptació de riscos i de l'assegurança de riscos.

5.1.1 Tipus de Riscs

En l'anàlisi de perills, existeixen quatre maneres d'administrar riscos amb la finalitat de resoldre les situacions d'emergència. Els mètodes de més preferible a menys són: evitar el risc, reduir-lo, assegurança del risc i acceptació del risc. Les dues primeres, solen està relacionades amb la inversió econòmica que es vulgui realitzar. Evitar el risc implicar eliminar la causa del perill. Això s'aconsegueix introduint canvis en les característiques inherents del risc. En canvi, reduir el risc implica incloure mesures de seguretat com algunes de les mencionades anteriorment.

L'assegurança del risc es el mètode escollit quan les possibles pèrdues són massa grans d'acceptar i massa costoses de prevenir o evitar. A la pràctica, les assegurances verifiquen que en situació d'incendi els sistemes de protecció actuïn segons el previst i que no es passin per alt els sistemes crítics així com les recomanacions fetes. Tot i així, no sempre es possible assegurar els riscos i s'han d'activar mesures per reduir-los. Aquest es un dels motius pels quals els negocis que tenen instal·lacions al mar, contractes internacionals de producció en terres compartides o les grans indústries petroquímiques solen ser propietat de més d'una empresa i tenir participació de governs nacionals. L'objectiu és compartir la posada en marxa, el finançament d'operacions i també el risc financer de desenvolupar operacions en aquest tipus d'instal·lacions. D'aquesta manera, la pèrdua de cada participant és menor.

Quan s'elaboren avaluacions de probabilitats i de conseqüències d'un esdeveniment molt sovint aquest es pot associar a un nivell numèric d'acceptació del risc. Normalment, als processos industrials indiquen l'accidentalitat d'una activitat amb paràmetres com el FAR i el PLL. El FAR (Fatality Accident Rate) correspon al nombre de morts degut a una activitat a partir de les hores treballades i el nombre de persones que realitzen l'activitat. En canvi, el PLL (Potencial loss of life) és el nombre de víctimes previst en una població específica per any. Sovint, el criteri de risc no pot superar el $1 \cdot 10^{-3}$ per any mentre que per indústries petroquímiques el valor no pot superar el $1 \cdot 10^{-4}$ per any. Per determinar l'acceptació d'un risc es considera el diagrama ALARP (As Low As Reasonably Practical) que es mostra seguidament:



Fig..5.1.1.1 Diagrama d'Alarp

El diagrama es divideix en tres zones: riscos inacceptables, riscos que cal reduir tant com sigui factible i les acceptables. Un esdeveniment forma part del grup de riscos a reduir quan es demostra que seguir reduint el risc és desproporcionat comparat amb els beneficis que s'obtenen. L'objectiu d'aquest mètode es trobar un equilibri entre el risc que comporta un incident i el benefici de la societat.

5.1.2 Anàlisi Qualitativa i Quantitativa

A l'hora de definir el nivell i la magnitud dels riscos cal fer-ho de manera qualitativa i quantitativa. Per exemple, en una situació d'incendi és important saber que els equipaments defectuosos i la vulnerabilitat dels treballadors representen un alt risc. Però també cal determinar les conseqüències econòmiques, localitzar i analitzar els elements crítics dels equips per evitar el risc de forma numèrica.

Per una banda, la crítica **qualitativa** inclou estudis basats en l'experiència general del personal expert sense involucrar estimacions matemàtiques. Principalment, s'utilitzen llistes validar paràmetres i es qüestionen elements del disseny i operativa del procés que poden donar lloc a un incident. A continuació s'expliquen possibles mètodes:

- **Llistat** de situacions d'inseguretat comunes i les mesures per eradicar aquests riscos.
- **Anàlisi preliminar de perills (PHA)**: Conjunt d'avaluacions sistemàtiques dels potencials incidents indesitjables associats al procés d'una indústria com explosions, incendis o fuga de tòxics. Permeten identificar riscos i es formula una possible mesura de prevenció. Els resultats donen una base per determinar quins riscos que cal prioritzar i estudiar amb més profunditat. El PHA aporta informació als managers sobre equips, instrumentació, utilitats i acció humana per poder prendre decisions referents a la seguretat. El Bow-Tie és un tipus d'anàlisi PHA que mostra visualment la relacions entre el control dels elements perillosos i el sistema de gestió.
- **Safety Flow Chart**: Mostra pas per pas l'escenari en què es desenvolupa un incident i permet detectar les deficiències.
- **What if? (WIA)**: Investigació de possibles situacions que es podrien succeir.
- **Anàlisi funcional de Operativa (HAZOP)**: És una efectiva eina popular en indústries químiques i del petroli per oferir millores per la seguretat de la planta. Examina estructuradament els sistemes i identifica els problemes que poden suposar un risc.
- **Anàlisi de protecció per capes (LOPA)**: El mètode analitza la probabilitat dels esdeveniments i ho plasma visualment per capes.

Pel que fa a la crítica **quantitativa**, s'elaboren valoracions matemàtiques per preveure ocurrencies. Tres metodologies habituals són:

- **Arbre d'esdeveniments:** Diagrama inductiu on un esdeveniment és analitzat mitjançant lògica booleana per examinar cronològicament la sèrie incidents que pot provocar.
- **Arbre de Fallides (FTA):** Es parteix d'una situació principal i es desenvolupa un diagrama de totes les possibles fallides que poden succeir a causa d'aquest.
- **Anàlisi modal de Fallides i els seus Efectes (FMEA):** Valora numèricament la gravetat, la capacitat de detecció i la probabilitat de que es produeixin incidents. Amb aquests valors es calcula un índex de prioritat que determina les accions de les empreses. És aplicable tant en fase de disseny com de procés del projecte.

A continuació, es presenten els anàlisis de riscos del sistema plataforma d'extracció d'hidrocarburs i del sistema eina:

Sistema Plataforma d'extracció d'hidrocarburs:

ÀMBIT	ESDEVENIMENTS
TÈCNIC	Fallides en els equipaments i sistemes de seguretat Execució dels equips en situació d'emergència
COSTOS	Equipaments i matèries primes cars Pèrdua de material durant el transport
TEMPS	Parades tècniques i per accidents
NEGOCI	Escassetat de material extret
MERCAT	Preu de compra del petroli
REGULATIUS	Compliment de regulacions ambientals i danys ecològics.
PERSONAL	Dures condicions de vida a la plataforma durant mesos
GESTIÓ	Desviacions sobre la planificació
VULNERABILITAT FÍSICA	Víctimes mortals i lesions en situació d'emergència com incendi, explosió o fuga de tòxics.

Fig. 5.1.2.1. Llistat d'identificació de riscos

PARAULES GUIA	PERTURBACIÓ	CAUSES POSSIBLES	REPERCUSIONS	MESURES NECESSÀRIES
NO	No Flux	1. Inexistència d'hidrocarburs al tanc	Paralització del procés de reacció esperat Formació de polímer en el intercanviador de calor	Assegurar bona comunicació amb l'operador del tanc Instal·lació d'alarma de nivell mínim de líquid al dipòsit
		2. Fallada de element del circuit (bomba, motor...)	Com 1	Instal·lació d'alarma de nivell mínim de líquid al dipòsit
		3. Conducció bloquejada: vàlvula bloquejada per error, ESD...	Com 1 Bomba sobrecarregada	Instal·lació d'alarma de nivell mínim de líquid al dipòsit, sistema de desconnexió automàtica per protecció de bombes, verificar filtres de bombes
		4. Trencament de la conducció	Com 1 Fuga d'Hidrocarbur	Instal·lació d'alarma de nivell mínim de líquid al dipòsit Inspecció regular de la conducció mitjançant rondes
MÉS	Més Flux	5. Vàlvula de control o by-pass falla i queden oberts	Separació incompleta de estats generant problemes a la reacció posterior	Instal·lació d'alarma de control de nivell màxim i verificar el control del sobreelididor Instal·lació de sistema de bloqueig a by-pass Ampliar la capacitat de la segona bomba respecte la primera
	Més Pressió	6. Vàlvula d'aïllament de la conducció	Conducció sotmesa a sobrepressió generant possibles fugues i trencaments	Instal·lació sistema de desconnexió automàtica per protecció de bombes Verificació de dimensions i reduir velocitat de resposta Instal·lar un indicador de pressió
	Més Temperatura	7. Dilatació tèrmica dels equips degut a un incendi 8. Temperatura elevada al tanc	Trencament de conducció i fugues Excessiva pressió al dipòsit regulador	Instal·lació de sistema de reducció de dilatacions tèrmiques i sobrepressió en trams de conducció Mesures de seguretat per temperatures elevades

MENYS	Més Flux	9. Fugues	Pèrdua de matèries	Inspecció regular de la conducció Sistemes de desconexió automàtica de bombes
	Menys temperatura	10. Condicions	Col·lector d'aigua i canonades de drenatge	Col·lector i vàlvula de drenatge
MAJOR QUE	Presència d'àcids orgànics	11. Pertorbacions en les columnes de destil·lació dels tancs	Increment del grau de corrosió als equips	Verificació dels materials de les instal·lacions
PART DE	Alta concentració d'aigua als subministres	12. Nivell d'aigua alt al tanc	Col·lector ple més ràpidament Possibilitats d'aigua a les posteriors reaccions	Adequació de sistemes per l'eliminació d'aigua Instal·lació de alarma de nivell màxim al col·lector
	Alta concentració alcans volàtils als subministres	13. Pertorbacions a les columnes de destil·lació del tanc	Pressions més elevades	Verificació de la resistència dels equips per suportar sobrepressions
ALTRES	Intervencions d'operacions de manteniment o neteja	14. Presència d'atmosferes perilloses per fallides d'equips o errors humans	Deflagacions, explosions per falta de purga	Instal·lació de suficients punts de drenatge i purga

Fig. 5.1.2.2. HAZOP del sistema extracció d'hidrocarburs

Sistema Eina:

ÀMBIT	ESDEVENIMENTS
TÈCNIC	No és possible adquirir la precisió necessària No es disposa de dades suficients
COSTOS	Implementació amb el programa HYSYS
TEMPS	Dificultat per tenir els resultats correctes, degut al tipus de dades
NEGOCI	Compatibilitat de l'eina amb el programa i necessitats de l'empresa
MERCAT	Mètode actual popularment utilitzat
PERSONAL	Falta d'experiència amb els programes utilitzats
GESTIÓ	Incompliment de la planificació
VULNERABILITAT FÍSICA	Els resultats incorrectes de l'eina poden provocar destrucció dels equipaments, explosió abans d'hora i víctimes mortals (treballadors de la planta i equips de rescat)

Fig. 5.1.2.3. Llistat d'identificació de riscos de l'eina

	Ref	PERILL	Esdeveniment	Causas	Conseqüències	Accions preventives	Gravetat
Creació Eina	1	Dades inadecuades	Les dades utilitzades són insuficients per treure conclusions	Interpolació mètode erroni	Resultats Incorrectes	Disposar de més fonts de dades	1
	2	Precisió Insuficient	Obtenim resultats amb errors superiors als previstos	Mètode incorrecte	Resultats poc precisos	Càlcul de l'error Definició de límits d'error	1
	3	Fallida del programa	El programa no s'executa	Programació errònia	No es disposa de resultats	Incloure manual Mètodes d'actualització manual	2
	4	Dificultat d'utilització	Introducció de dades, utilització de l'eina no es adequada per l'usuari	No tenir en compte l'usuari	Incomprensió dels resultats	Adaptar el programa a l'usuari	3
Execució Eina	5	Resultats superiors als reals	La informació que ofereix el programa no és correcte, dona un temps de seguretat menor al real.	Temps de Seguretat incorrecte	Victimes mortals Temps de destrucció dels equips desconegut	Check de resultats lògics	1
	6	Resultats inferiors als reals	La informació que ofereix el programa no és correcte, dona un temps de seguretat superior al real.	Temps de Seguretat incorrecte	Mesures de seguretat executades amb menys temps del que es disposa	Check de resultats lògics	2

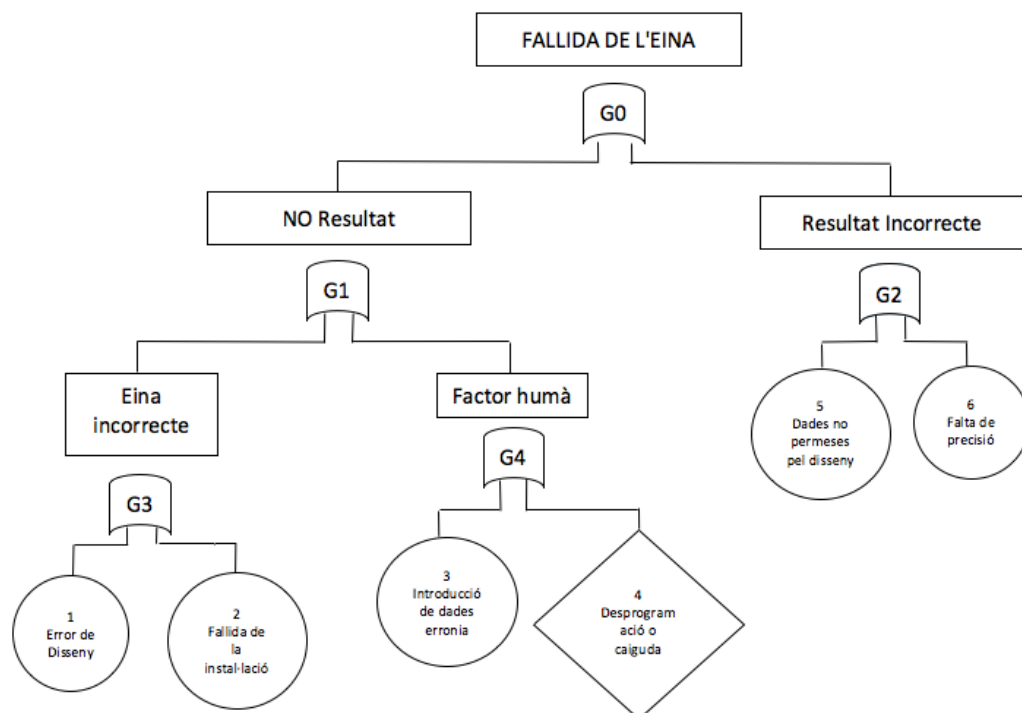


Fig. 5.1.2.4. PHA de l'eina

- Prioritat 1 → Esdeveniment 1: Error de Disseny
- Prioritat 2 → Esdeveniment 6: Falta de precisió

A més dels riscos que es poden produir, també es fan estudis per avaluar l'efectivitat d'execució dels equipaments en situació d'emergència. S'aconsegueix mitjançant simulacions i anàlisis matemàtics que permeten descobrir la necessitat d'introduir mesures de seguretat. Per tal de poder introduir la mesura de seguretat, s'han haver realitzat simulacions sobre la despressurització dels equips. És a dir, fer els càlculs matemàtics del dimensionament dels sistemes i el temps de despressurització dels gasos i líquids de la plataforma, segons la filosofia de l'empresa i els estàndards de protecció de la indústria. També s'estudia matemàticament la sobrepressió prevista per una explosió a la planta, la duració de l'escalfor i la flama d'un foc, la probabilitat de que un sistema en situació d'emergència requereixi una acció humana entre molts altres.

5.2. Cronograma

El projecte es dividit en diverses fases per tal de portar una programació acurada i complir terminis proposats. En una primera fase d'anàlisi, d'una duració total de 26 dies, s'han fet diferents estudis centrats majoritàriament en el marc teòric, per tal d'entendre amb més profunditat la qüestió principal del projecte. S'han destinat aproximadament uns 10 dies per recollir informació sobre les plataformes petroleres en general, i 10 dies més per l'escenari d'una situació d'emergència en particular. En aquesta fase, també s'ha fet la repartició de tasques, s'han establert els requeriments de l'usuari i s'han focalitzat les funcions que ha de tenir l'eina.

Un cop adquirit aquest bagatge teòric, es procedeix a la fase de disseny, que comença immediatament en el moment de finalització de l'etapa anterior, a finals del mes de març. Aquesta etapa de 25 dies es focalitza en la creació i programació del criteri per l'eina. S'estableix de la manera més clara possible, dintre dels límits del disseny conceptual, la funcionalitat de l'eina. En altres paraules, sense entrar encara en la programació, aquesta fase serveix per tenir clares les dades de les quals es disposa per fer els càlculs, el procediment a seguir, i l'objectiu al qual es vol arribar. S'han fet diverses reunions amb l'empresa InProcess, per tal de trobar la manera més òptima d'abordar el problema i obtenir resultats el més satisfactoris possibles.

A finals d'abril es va procedir a la tercera fase, en la qual es treballaria durant un mes. El desenvolupament del projecte és on es concentra en gran part el gruix de feina, ja que s'ha de posar en pràctica tots els conceptes adquirits fins el moment. Així doncs, es procedeix a fer els càlculs pertinents de la temperatura exterior, la tensió a partir de la pressió i el temps de ruptura, els quals ocupen una setmana cada un. Posteriorment, s'elaboren uns gràfics en Microsoft Excel per mostrar els resultats adquirits.

Com a etapes finals, s'ha afegit un test general del sistema, d'una setmana de duració, en el qual es comprovarà que l'eina compleixi les especificacions i requisits demanats a l'inici del projecte, així com la validesa dels paràmetres i resultats obtinguts. Per últim, s'ha destinat una setmana a dissenyar una estratègia comercial per tal de donar a conèixer el servei i que pugui ser útil en un futur per empreses del sector petrolífer, de la mateixa manera que ho és per InProcess.

Així doncs, el projecte té una durada total de 94 dies laborables, amb data d'inici el 15 de febrer de 2016 i data de finalització el 22 de juny de 2016. A continuació, es detalla una taula amb les diferents fases desglossades, i un diagrama de Gantt com a cronograma d'aquestes.

Task Name	Start Date	End Date	Duration
Fase d'anàlisi	15/02/16	21/03/16	26d
Inici del projecte	15/02/16	29/02/16	11d
Organització inicial	21/02/16	04/03/16	11d
Repartició de tasques	28/02/16	04/03/16	6d
Anàlisi del problema a resoldre	06/03/16	18/03/16	11d
Estudi de les plataformes petroleres	07/03/16	21/03/16	11d
Estudi de la situació d'emergència	07/03/16	18/03/16	10d
Requeriments de l'usuari i definició funcional	14/03/16	21/03/16	6d
Fase de disseny	21/03/16	22/04/16	25d
Anàlisi de les funcions de l'eina	21/03/16	04/04/16	11d
Estudi dels requeriments del programa	04/04/16	14/04/16	9d
Disseny conceptual	04/04/16	22/04/16	15d
Desenvolupament del projecte	25/04/16	03/06/16	30d
Càlcul de la temperatura exterior	25/04/16	29/04/16	5d
Càlcul de la tensió a partir de la pressió	02/05/16	06/05/16	5d
Càlcul del temps de ruptura	09/05/16	13/05/16	5d
Programació en Excel	16/05/16	30/05/16	11d
Manual d'ús	30/05/16	03/06/16	5d
Test general del sistema	06/06/16	10/06/16	5d
Prova de funcionament de l'eina	06/06/16	08/06/16	3d
Comprovació dels paràmetres i resultats	06/06/16	10/06/16	5d
Validació final	13/06/16	22/06/16	8d
Disseny d'estratègia de comercialització del servei	13/06/16	22/06/16	8d

Taula 5.2.1: Fases del projecte. Font: Smartsheet, software online

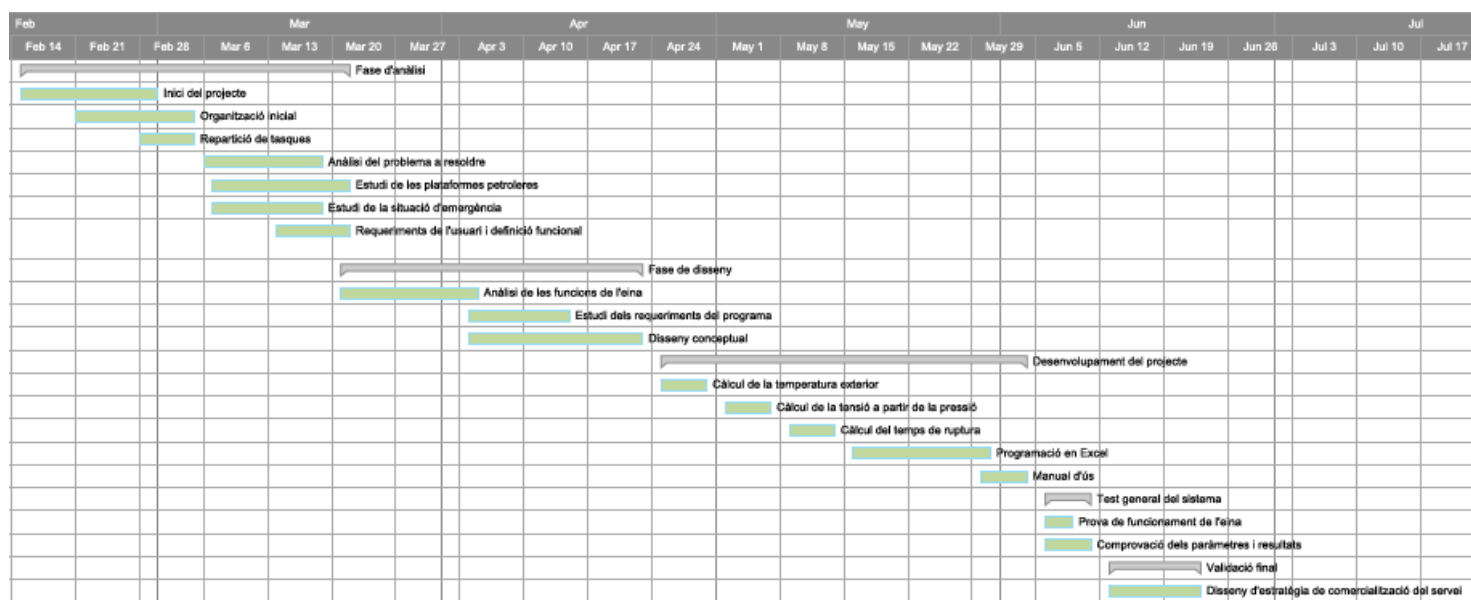
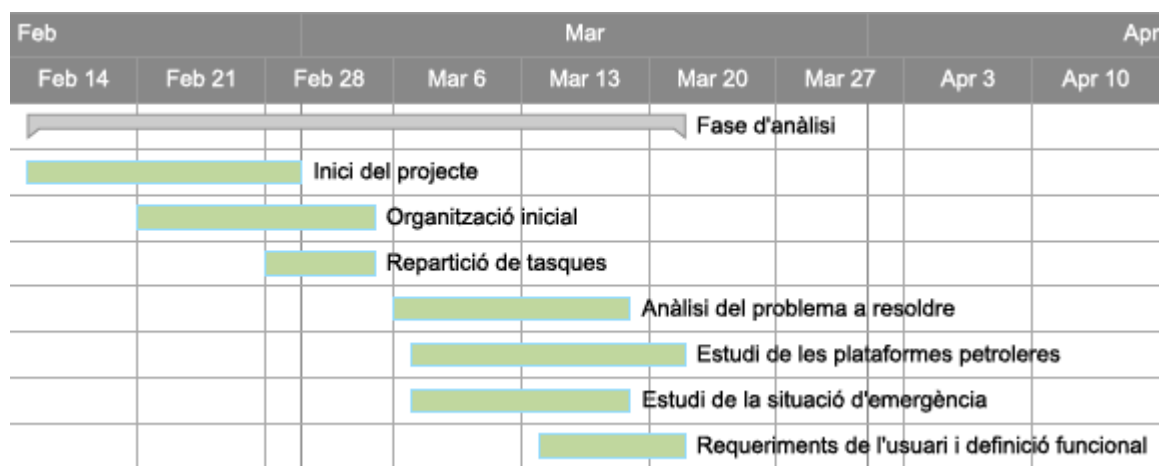


Fig. 5.2.2: Diagrama de Gantt. Font: Smartsheet, software online

FASE D'ANÀLISI



2.3: Diagrama de Gantt, Fase d'anàlisi. Font: Smartsheet, software online

FASE DE DISSENY

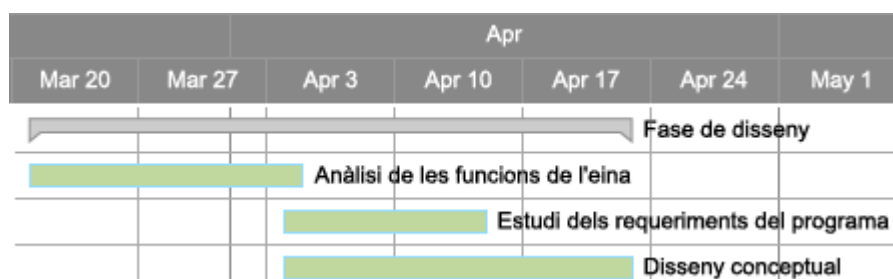


Fig. 5.2.4 Diagrama de Gantt, Fase de disseny. Font: Smartsheet, software online

DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

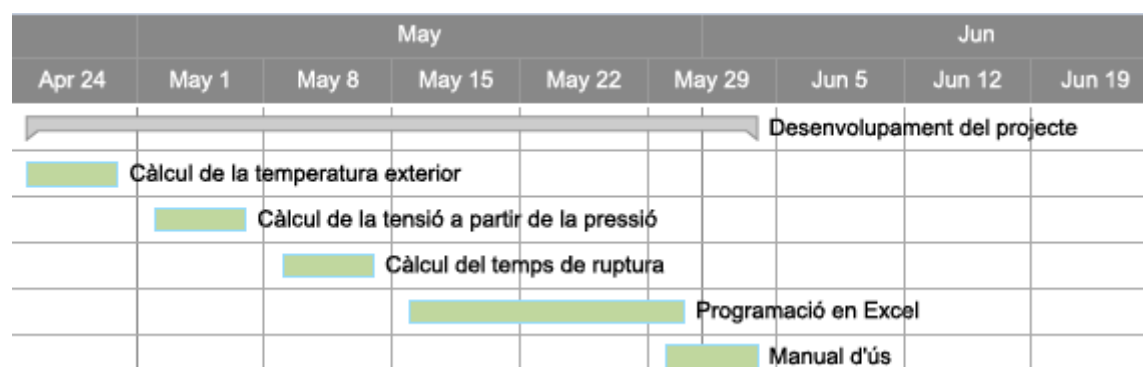
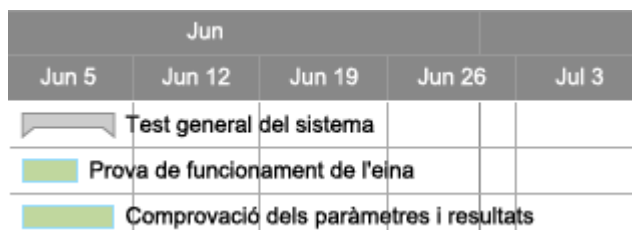


Fig. 5.2.5 Diagrama de Gantt, Desenvolupament del projecte. Font: Smartsheet, software online

TEST GENERAL DEL SISTEMA



2.6: Diagrama de Gantt, Desenvolupament del projecte. Font: Smartsheet, software online

VALIDACIÓ FINAL

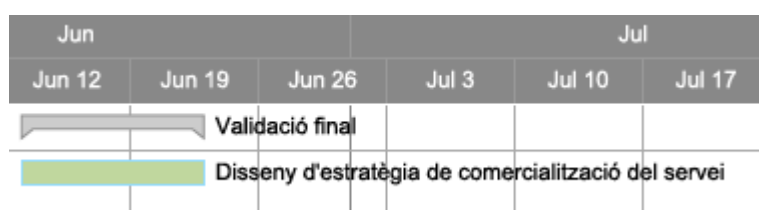


Fig. 5.2.7 Diagrama de Gantt, Desenvolupament del projecte. Font: Smartsheet, software online

5.3. Estudi econòmic

En aquesta secció es detallen els costos necessaris per a la realització del projecte. En primer lloc, s'expliquen els costos de recursos humans relacionats amb les hores de treball invertides per cada enginyer. En segon lloc, es determinen els costos relacionats amb la fabricació d'un producte. Aquests estan directament relacionats amb la producció i són proporcionals a la quantitat produïda. Són els anomenats costos directes, que poden ser tant fixes com variables. Per últim, es defineixen els costos indirectes com aquells que no permeten establir una relació directa amb cada unitat de producte, però que deriven de l'ús de recursos materials.

5.3.1. Costos de recursos humans

El projecte ha estat elaborat en la seva totalitat per dues persones. Tanmateix, s'han dut a terme tasques de naturalesa variable i per tant, aquestes tenen un reconeixement econòmic corresponent al nivell de dificultat i dedicació en cada cas. El projecte es constitueix per dues parts diferenciades, que són la gestió del projecte i la programació de l'eina de treball. Segons aquest criteri, s'estableixen dos tipus de salari, el corresponent a un graduat en enginyeria en tecnologies industrials i un programador.

Per tal de determinar els salaris prèviament esmentats s'han consultat els estudis de remuneració de l'any 2016 [XX], en els quals s'ha considerat una jornada laboral de 6h, i dues pagues extres anuals, per tal de calcular el sou en €/h a partir de dades salarials anuals. Així doncs, s'ha decidit establir un sou de 17,86€/h per un enginyer de projectes, corresponent a un sou anual de 24.000€ i un sou de 16,37€/h per un programador que correspondria a un enginyer de processos amb un sou anual de 22.000€. A continuació, es detallen les taules consultades per aquest càlcul.

INGENIERO DE PROYECTOS / PRESUPUESTOS

DEPENDENCIA

En dependencia del Responsable de Oficina Técnica o Jefe de Proyectos.

RESPONSABILIDADES

- Gestión, desarrollo y producción de proyectos.
- Participar en las fases de puesta en servicio de los proyectos.
- Participar en la edición de la documentación técnica del proyecto.
- Coordinar los diferentes departamentos para el desarrollo de los proyectos asignados, los procesos de industrialización y puesta en servicio.
- Realizar el seguimiento de los objetivos de calidad, costes y plazos concernientes a su proyecto.
- Gestión, tramitación y resolución de las incidencias técnicas que se presenten a los clientes así como a los proveedores.

PERFIL

- Ingeniero Técnico o Ingeniero Superior, incluso Formación Profesional con mucha experiencia.

EVOLUCIÓN

La evolución de la posición puede ser muy diversa: Jefe / Gestor / Director de Proyectos, Ingeniero de Planificación o Desarrollo de Negocios. También, a largo plazo, puede derivar al área comercial, así como en puestos estratégicos de Gerencia o Dirección.

REMUNERACIÓN EN EUROS

Experiencia		Ninguna	Hasta 2 años	2-4 años	+ de 4 años
ING. TCO. / SUP	Mín.	19.000€	24.000€	30.000€	+ de
	Máx.	24.000€	30.000€	35.000€	35.000€

Fig. 5.3.1.1 Taula salarial d'un enginyer de projectes

INGENIERO DE PROCESOS

DEPENDENCIA

En dependencia del Director de Producción.

RESPONSABILIDADES

- Proponer acciones de Mejora Continua.
- Administrar los herramientas de los procesos asignados, asegurando su buen estado y la disponibilidad de sus recambios.
- Colaborar con las oficinas técnicas y otros departamentos de la empresa en la industrialización de nuevos proyectos o por transferencia de otras plantas.
- Participar en las auditorías programadas por la empresa, formando parte del equipo auditor o como parte auditada (Auditoría de Procesos, Calidad, Medio Ambiente, Prevención de Riesgos).

PERFIL

- Ingeniero Técnico o Industrial, Ingeniero de Organización Industrial.
- Perfiles con experiencia en el área de Producción, Fabricación o Calidad.
- Se requiere capacidad analítica para detectar no conformidades y proponer mejoras.

EVOLUCIÓN

Suelen ser profesionales con mucho potencial que crecen internamente en la compañía a puestos cada vez más estratégicos.

REMUNERACIÓN EN EUROS

Experiencia		Ninguna	Hasta 2 años	2-4 años	+ de 4 años
ING. TCO. / SUP	Mín.	22.000€	24.000€	29.000€	+ de 35.000€
	Máx.	24.000€	29.000€	35.000€	

Fig. 5.3.1.2 Taula salarial d'un enginyer de processos

COSTOS DE RECURSOS HUMANOS				
TASCA	EXECUTOR	DURACIÓ [h]	SALARI [€/h]	COST [€]
Definició del problema	Enginyer de projecte	5	17,86	89,3
Context i marc històric	Enginyer de projecte	40	17,86	714,4
Documentació sobre plataformes petroleres	Enginyer de projecte	40	17,86	714,4
Estudi del mètode de despressurització	Enginyer de projecte	30	17,86	535,8
Aprenentatge	Programador	35	16,37	572,95
Càlcul de paràmetres	Programador	15	16,37	245,55
Preparació i processament de dades	Programador	20	16,37	327,4
Optimització	Programador	10	16,37	163,7
Redacció de manuals	Enginyer de projecte	10	17,86	178,6
Redacció de l'informe	Enginyer de projecte	35	17,86	625,1
COST TOTAL		Preu Base		4167,2
		IVA (21%)		875,112
		TOTAL		5042,31 €

Taula 5.3.1.1: Càlcul desglossat dels costos de recursos humans

5.3.2. Costos directes

Els costos directes contemplen la inversió que es fa en quant al material requerit per dur a terme el projecte.

Entre ells, destaca l'adquisició d'un equip informàtic, en concret es considera un ordinador portàtil amb sistema operatiu Windows, ja que és necessari tant per totes les fases: la documentació, el càlcul a través del software Microsoft Excel, la redacció de l'informe i per descomptat, la programació de l'eina de treball. De manera addicional, també es requereix de l'ús d'un ordinador per estar en contacte amb l'empresa InProcess a través del correu electrònic i establir reunions periòdiques a l'empresa per fer un seguiment del projecte, afegint un cost de desplaçaments. En aquest apartat, també s'inclou el cost d'impressió i enquadernació de la memòria del treball.

COSTOS DIRECTES			
CONCEPTE	COST UNITARI [€/mes]	ÚS [mesos]	COST [€]
Ordinador Acer Travelmate Windows 8			459
Desplaçaments	10	4	40
Impressió i enquadernació de la memòria			35
COST		Preu Base	534
		IVA (21%)	112,14
		TOTAL	646,14

Taula 5.3.1.2: Càlcul desglossat dels costos directes

5.3.3. Costos indirectes

En els costos indirectes es consideren factors que deriven dels recursos materials, imprescindibles per la realització del projecte. En aquest cas, en relació als equips informàtics es destaca el consum energètic i la connexió a Internet. No s'ha afegit el cost d'un lloguer d'un establiment, telèfon, llum, aigua, etc. ja que s'han utilitzat les instal·lacions de InProcess i de la universitat.

Per realitzar el càlcul del consum d'electricitat, s'ha considerat la duració total del projecte que és de 96 dies laborables amb una jornada de 6h diàries, fet que suposa 564h d'electricitat.

COSTOS INDIRECTES				
Concepte	Cost unitari	Uso [hores]	Consum [W]	Cost [€]
Consum elèctric	0,15 €/kWh	564	250	21,15
Connexió a Internet	36 €/mes	4	-	144
COST			Preu Base	165,15
			IVA (21%)	34,68
			TOTAL	199,83

Taula 5.3.3.1: Càlcul desglossat dels costos indirectes

Per concloure aquesta secció, s'ha fet un recompte dels diferents costos per arribar a conèixer la inversió total del projecte. Aquesta informació s'afegeix en la taula que segueix a continuació:

COSTOS TOTAIS DEL PROJECTE	
Concepte	Cost [€]
Cost de recursos humans	5042,31
Cost directe	646,14

Cost indirecte	199,83
COST TOTAL DEL PROJECTE	5888,28

Taula 5.3.3.2: Càlcul del cost total del projecte

5.4. Impacte ambiental

La creació d'una eina informàtica mitjançant la programació amb Excel no té petjada ecològica en sí mateixa. Però, s'ha de tenir en compte les emissions que van lligades com ara l'electricitat utilitzada per la il·luminació durant els dies treballats o com pel corrent elèctric, necessari pel funcionament de l'ordinador i la connexió a Internet. El temps corresponent a l'ús d'electricitat i llum s'ha calculat aproximadament, donat que depenen del lloc de treball i el moment del dia.

Tal i com s'estableix a la Comissió Europea i a la *Guía práctica para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)* [5], es considera que 1kWh emet 0,65 kg de CO₂.

EMISSIONS DE CO ₂				
Element de consum	Temps de consum [h]	Potència [W]	Energia [kWh]	Emissió de CO ₂ [kg]
Llum	200	90	18	11,7
Corrent elèctric	350	250	87,5	56,87
EMISSIONS TOTALS DE CO₂				68,57

Taula 5.4.1 Emissions de CO₂ derivades del consum elèctric desenvolupat al projecte.

Així doncs, s'obté un total de 68,57 kg de CO₂ emesos durant el curs del projecte.

6. MARC PRÀCTIC

6.1. Passos a seguir. Punt de partida i objectiu final.

Es pretén aprofundir en el criteri de despressurització que actualment s'aplica en les empreses petroleres i perfeccionar-lo per fer els processos en cas d'incendi més òptims. La informació obtinguda amb l'estudi, permet simular la situació d'emergència del separador amb més precisió. En conseqüència, es coneix el temps de seguretat que realment es disposa per activar les mesures de seguretat i evacuar la planta si fos necessari. En alguns casos, les noves pautes inclús fan possible adaptar el disseny de la plataforma per decidir i obtenir el temps de seguretat desitjat.

Per aconseguir el nostre objectiu, dues gràfiques extretes de l'article científic *Metal Stress* [1] aporten les dades inicials de l'estudi. Es treballa amb el software Microsoft Excel per analitzar les dades i crear una metodologia que posteriorment es pugui automatitzar. Els resultats es verifiquen afegint la informació obtinguda a un programa de simulació de la indústria petrolera anomenat HYSIS. D'aquesta manera, es comprova que les noves pautes augmenten la qualitat de la simulació de la plataforma en situació d'incendi i les millores dels resultats.

En primer lloc, s'estudia una gràfica 1 que representa l'increment de temperatura enfront al temps del foc, és a dir, el temps que porta el dipòsit separador exposat al foc des de l'inici de l'incendi. Com s'ha vist anteriorment, la gràfica 1 mostra el comportament de diferents gruixos d'acer. Cal aconseguir conèixer les equacions que parametritzen aquestes corbes per entendre la tendència i l'evolució que segueixen els seus paràmetres i poder extrapolar el problema per a qualsevol gruix.

En segon lloc, es té una gràfica 2 amb eixos logarítmics. En aquesta es representa la tensió enfront el temps de seguretat, el temps que es disposa abans de què el material del dipòsit arribi a la tensió de ruptura i falli. En aquest cas, les diverses corbes són isoterms que corresponen a la temperatura exterior del dipòsit. Els temps de ruptura de més de 10000 hores es consideren infinit i que el dipòsit no fallarà. Per això, s'estudia un tram específic de temps entès com crític. Quan es troba l'equació de les quatre corbes de les quals es disposa, es procedeix a obtenir una equació final i sintètica que contingui la informació de totes les isoterms del gràfic.

Un cop s'obtenen les dades dels gràfics anteriors es relaciona la informació seguint una metodologia per aconseguir obtenir el temps de seguretat. L'objectiu és determinar una metodologia efectiva i executar-la de forma automàtica amb una eina. D'aquesta manera, coneixent el gruix del dipòsit, el programa calcula el temps de seguretat disponible. Tanmateix,

la informació és útil per dimensionar el separador i els elements segons la situació desitjada.

6.2. Paràmetres, Fórmules i Gràfics

Abans de determinar la metodologia que permet obtenir la informació és necessari entendre els factors que porten a aconseguir l'objectiu. El procés de l'eina consisteix en consultar dues gràfiques i executar fórmules. Per aquest motiu, cal entendre les variables amb què s'opera.

En aquest apartat es desenvolupen els paràmetres que s'utilitzen per l'estudi i posteriorment per l'elaboració del procés. Els paràmetres utilitzats són: temps del foc, gruix del separador (e), temperatura exterior del vessel, tensió del material, pressió, temps de seguretat (t_{seg}). Cal tenir en compte que el **temps del foc**, la **pressió** i el **gruix** són dades proporcionades per l'empresa a partir d'una simulació inicial. A continuació, es descriuen les gràfiques i fórmules de les que es parteix:

A) Temps del foc (t_{foc})

Es considera que el temps del foc s'inicia quan l'incendi està proper del separador i li transmet escalfor. La calor incrementa la temperatura del dipòsit de pressió. En aquest cas, es treballa el temps del foc en minuts.

B) Gruix del separador (g)

El separador sol ser de metall i de mides molt variades. Tot i així, els vessels que s'utilitzen a les plataformes petroleres poden arribar a contenir 200 m³. Pel que fa al gruix, sol oscil·lar entre 3,2 a 25 mm. Tot i així, és possible incrementar el rang de treball si fos necessari.

Es recupera el gràfic 1 que permet iniciar l'estudi pràctic. S'observa que a l'eix de les ordenades hi ha la temperatura exterior del separador (°C i °F) en contacte amb l'incendi. En les abscisses, hi ha el temps transcorregut des de l'inici de l'incendi (minuts). També, es mostren quatre corbes que corresponen a quatre gruixos de dipòsits diferents. La segona no es té en compte ja que ha estat elaborada experimentalment. A continuació, es mostra el gràfic Temperatura exterior – Temps del foc:

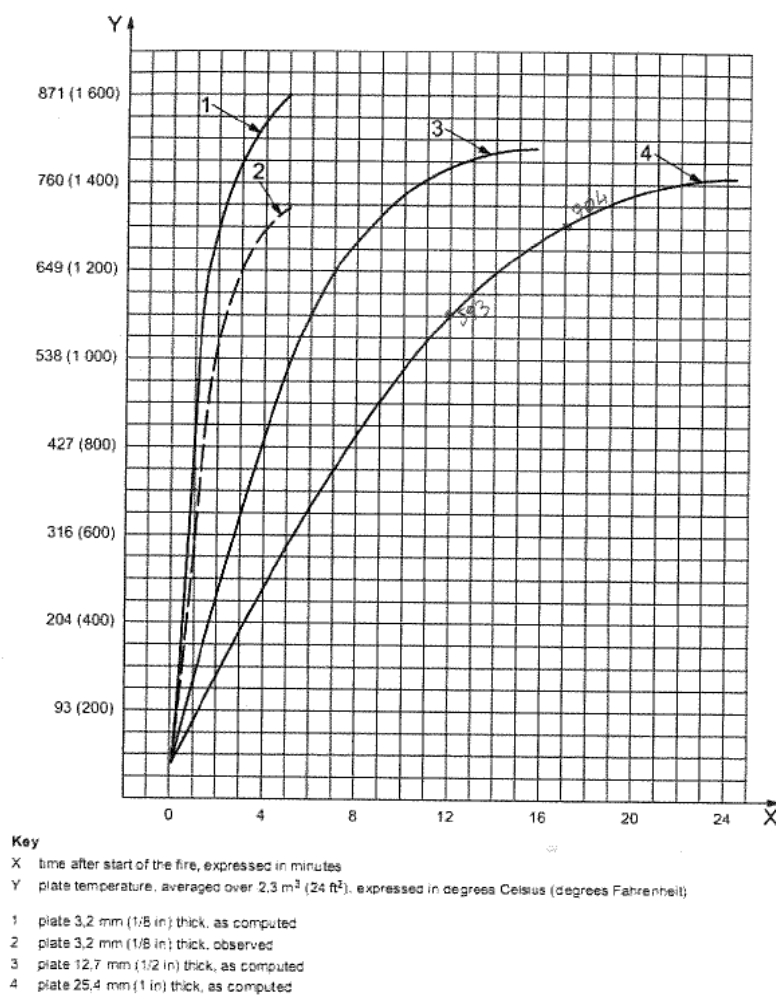


Figure 1 — Average rate of heating steel plates exposed to open gasoline fire on one side

Fig. 6.2.2.1 Gràfica Temperatura exterior- Temps d'exposició al foc

La figura mostra que a mesura que augmenta el gruix es requereix de més temps d'exposició al foc per incrementar la temperatura del dipòsit. A partir de les fórmules de conducció, convecció i radiació es comproven els fets. El flux de calor travessa des de l'exterior del dipòsit fins a l'interior. Passa d'una temperatura T_1 , corresponent a la paret exterior, a una temperatura T_2 que fa referència a la paret interior del vessel. En aquest punt, el flux de calor transferit per conducció a través de la paret del separador, es conserva i passa a l'interior del separador i a la mescla d'hidrocarburs, per convecció i radiació.

Així doncs, a partir de la fórmula de conducció es dedueix que quant més espessor (e), el flux de calor (q/A) disminueix i la calor transferida és menor. Per tant, es pot concloure que els separadors de major gruix són més resistents als canvis de temperatura.

$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e}{\lambda}}$$

on λ és la conductivitat tèrmica expressada en W/(K*m).

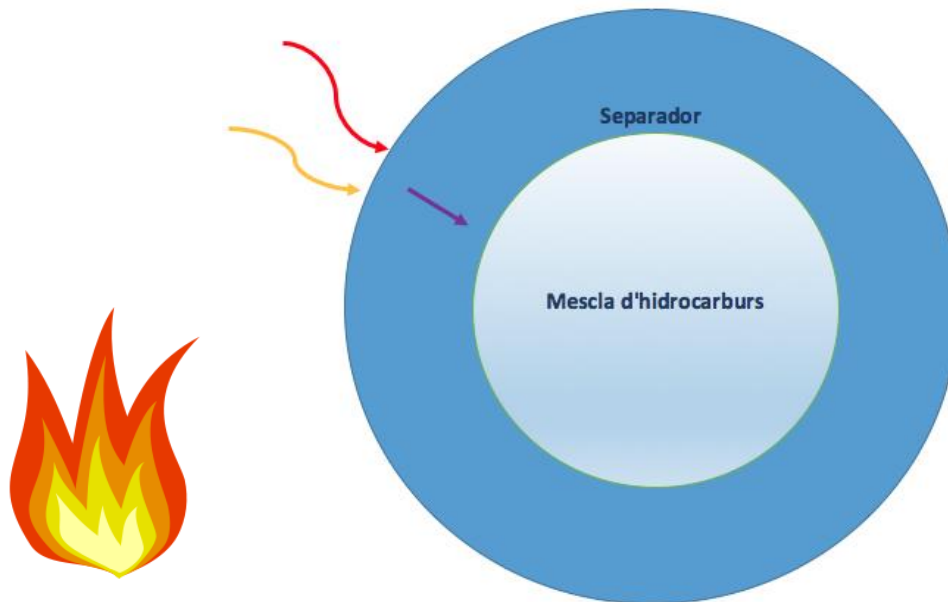


Fig. 6.2.2.2 Separador en situació d'incendi

C) Temperatura exterior del separador (T)

La informació que es vol extreure del gràfic 1 és la temperatura exterior del separador, a partir del gruix d'aquest i del temps del foc. Es van considerar diferents opcions per calcular la temperatura, com el càlcul de la temperatura de la calor absorbida mitjançant l'equació del foc, tal i com explica l'article "Size Depressurization and Relief Devices for Pressurized Segments Exposed to Fire", publicat a la revista Cep Magazine [4]. Però es va descartar perquè no es disposava de les dades suficients com per fer el càlcul mitjançant les equacions i taules que apareixen a l'article. Una altra opció, va ser utilitzar les lleis de Termodinàmica de transferència de calor, però la substància de l'interior del vessel no té uns components fixos per totes les plataformes ni mescles. Això implica que les constants de convecció, radiació varien per cada cas i per tant, caldria adaptar l'eina al material. La proposta es va descartar perquè l'objectiu és fer una eina el més robusta i fàcil d'aplicar possible. Per aquest motiu, es decideix obtenir la temperatura a partir del gràfic que s'ha mostrat anteriorment.

D) Tensió (σ)

Anomenem tensió mecànica a la magnitud física que representa la força per unitat d'àrea entorn un punt de material que pertany a una superfície.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

on σ és la tensió, F és la força i A és l'àrea sotmesa a aquesta força.

La tensió té com a unitats del SI els Pa, tot i que en el gràfic també ve expressada en psig.

Les forces poden estar localitzades o distribuïdes i poden fer moure el cos sobre el que actuen així com deformar-lo. Segons la relació que existeixi entre tensió (σ) i deformació (ε) del material, pot presentar diversos comportaments. A continuació es mostra un gràfic Tensió – Deformació de l'acer, el material més comú per construir separadors:

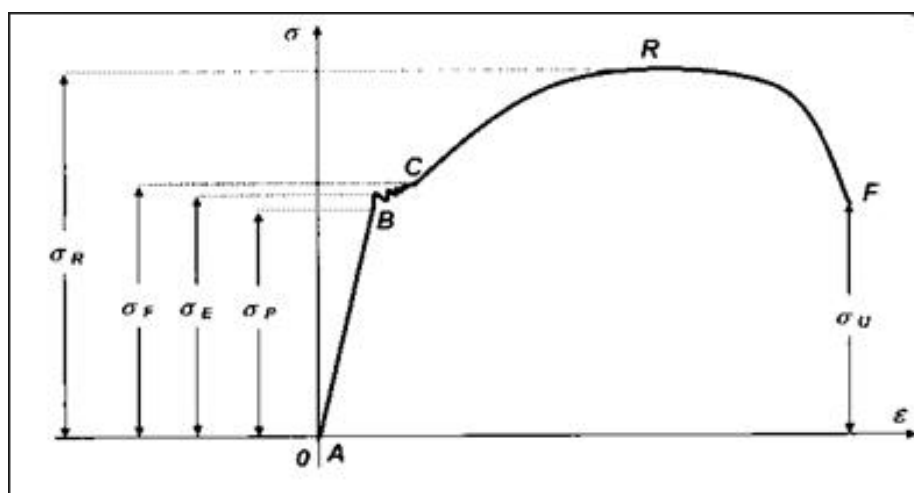


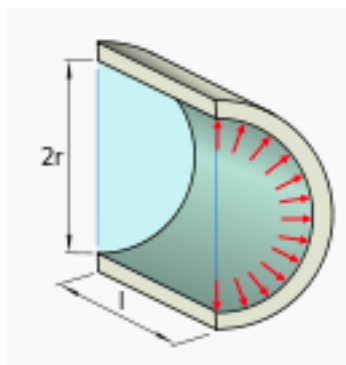
Fig. 6.2.4.1. Assaig a tracció d'una vareta d'acer

Un assaig a tracció d'una vareta d'acer consisteix en sotmetre la proveta a esforços axials de tracció creixents fins aconseguir la ruptura d'aquesta. Així es contempla els comportaments de l'acer a diferents tensions. El gràfic representa la deformació (allargament) que pateix la proveta respecte la seva longitud inicial a mesura que s'augmenta la força i la tensió. Existeixen quatre zones diferenciades:

TRAM	ZONA	DESCRIPCIÓ
A - B	DEFORMACIÓ ELÀSTICA	Les deformacions es reparteixen per tota la proveta i són de petita magnitud. Si es retira la força aplicada la proveta recupera la seva forma original. S'anomena tensió elàstica, la tensió màxima que s'assoleix en aquest tram.
B - C	FLUÈNCIA	És la deformació brusca de la proveta sense forces aplicades a causa de les impureses del material. Aquestes bloquegen les dislocacions de l'estructura cristal·lina de l'acer impedit el seu lliscament.
C - R	DEFORMACIÓ PLÀSTICA	Quan es retira la força aplicada la proveta només recupera parcialment la seva forma, deformant-se permanentment.
R - F	ESTRICCIÓ	El material es deforma fins que arriba a la tensió màxima admissible, la tensió de ruptura i es fractura.

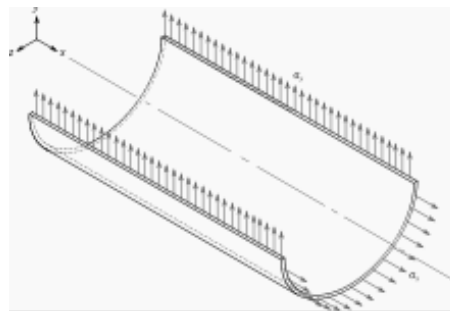
Fig. 6.2.4.2. Taula de tipus de deformació segons tensió

Concretament, en un separador la tensió és radial com a resultat de la força que exerceix la substància al pla perpendicular de l'eix de simetria. A més, els dipòsits que treballen sota pressió també estan sotmesos a una tensió axial generada per la pressió sobre les tapes laterals. L'esforç total és la suma dels dos.



$$\sigma_r = \frac{F}{e \cdot l}$$

Fig. 6.2.4.3. Tensió Radial



$$\sigma_z = \frac{P \cdot r^2}{(r + e)^2 - r^2}$$

Fig. 6.2.4.4. Tensió Axial

Per altra banda, l'ASME considera com a tensió total de ruptura d'un dipòsit sota pressió la fórmula següent i per l'eina s'utilitza aquesta:

$$\sigma = P(R + 0,6e)E \cdot e$$

On σ és la tensió de ruptura, la P es la pressió de treball (Psig), la R es el radi interior del dipòsit (polzades), e el gruix de la paret del dipòsit (polzades), E l'eficiència de la soldadura la qual es considera del 100%.

Existeix una relació entre tensió i temperatura. Una de les propietats més característiques dels metalls, és la resistència mecànica que és la capacitat de suportar grans esforços sense trencar-se. En general, en augmentar la temperatura, la resistència disminueix. Per exemple, el Inconel 601 es un altre material qualificat per l'ASME per fabricar vessels de pressió. Seguidament, es mostra una gràfica d'aquest material. Es pot comprovar que a mesura que augmenta la temperatura la resistència mecànica (Tensile Strength) disminueix i per tant, de la tensió màxima admissible és menor.

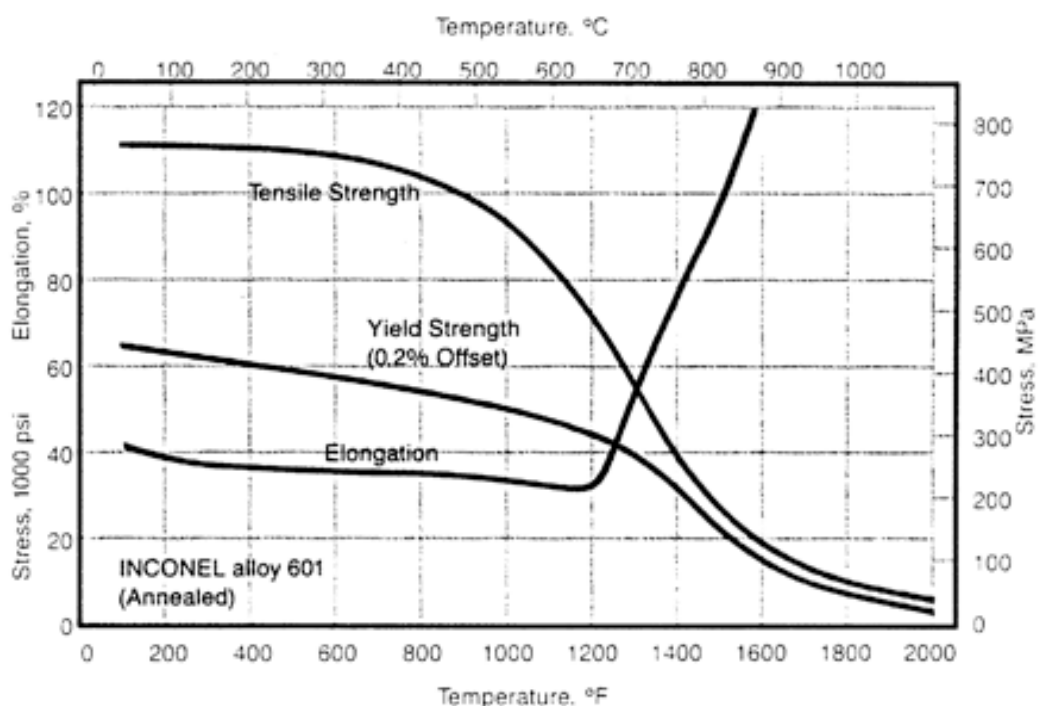


Fig. 6.2.4.5 Gràfic tensió- Temperatura del Inconel 601

E) Pressió (P)

Tot i que els separadors estan dissenyats per realitzar la separació de fases, la qualitat de la separació depèn del control de les seves condicions d'operació i de les taxes de sortida de les fases. Els factors més destacables del procés són: les característiques físiques i químiques del cru, temperatura, pressió, quantitat de fluid a tractar, mida i fabricació del dipòsit. Una de les tasques principals pel control d'operacions del separador és el control de pressió.

Aquest control manté constant la pressió del separador regulant la sortida de gas. Quan la pressió augmenta per sobre de la pressió de treball, aquesta pressió actua sobre la vàlvula de control de sortida de gas i provoca que s'obri més per permetre el pas del gas. En canvi, si la pressió disminueix per sota de la de treball, la vàlvula es tanca més bloquejant la sortida de gas i fent que el dipòsit es torni a pressuritzar. Sovint addicionalment a aquesta vàlvula hi ha una de alleugeriment i un disc de ruptura. En cas de que la vàlvula de pressió no permeti la despressurització del separador quan es troba a pressions per sobre de les d'operació, la vàlvula d'alleugeriment s'obre per despressuritzar el contenidor. Per altra banda, quan la segona vàlvula també resta inactiva i el separador segueix pressuritzant-se, el disc de ruptura entra en acció. Aquest és una làmina, normalment d'alumini, que suporta una determinada pressió i quan es sotmet a una major es trenca. Com a conseqüència, el vessel queda obert a l'atmosfera o a una línia de descàrrega.

Fent referència a la situació d'incendi, l'augment de temperatura pot provocar una disminució de la resistència del separador i un increment de la temperatura de la mescla d'hidrocarburs. A causa d'això, es pot arribar a la tensió de ruptura de manera més ràpida. Mitjançant el mètode de la despressurització, es controla la pressió i es manté la tensió del vessel prolongant el temps en el que s'assoleix la tensió de ruptura i falla el separador.

F) Temps de seguretat (tseg)

Un cop coneguda la tensió i la temperatura exterior del dipòsit, entra en joc el segon gràfic. D'aquest s'extraurà un temps de seguretat que es considera que és la durada des del moment en que el foc comença a escalfar el separador fins que arriba a la seva tensió de ruptura. Aleshores el separador falla o es fractura i és quan pot donar lloc a fugues, projectils voladors o explosions.

Durant el temps de seguretat disponible, es pot intentar apagar el foc, activar les mesures de seguretat i evacuar la plataforma petroliera. El període del que es disposa també permet decidir si és adient enviar un equip de rescat, o si per el contrari, no arribaria a temps. Per tant, aquesta informació també pot prevenir possibles víctimes dels equips d'emergència.

Pel que fa a la gràfica, és logarítmica. En les ordenades se situa la tensió que suporta el vessel en MPa i en Psig (entre parèntesis). A l'eix de les abscisses, es mostra el temps de seguretat en hores. Concretament, en el treball s'estudia fins a 10 hores de temps de seguretat ja que es considera el període de reacció més crític.. En canvi, les durades de al voltant de 10.000 hores s'entenen com a temps infinit, és a dir, que l'incendi no causa conseqüències greus. Per últim, cal saber que cada corba del gràfic és una isoterma que correspon a una temperatura diferent. Aquestes fan referència a les temperatura exterior del separador.

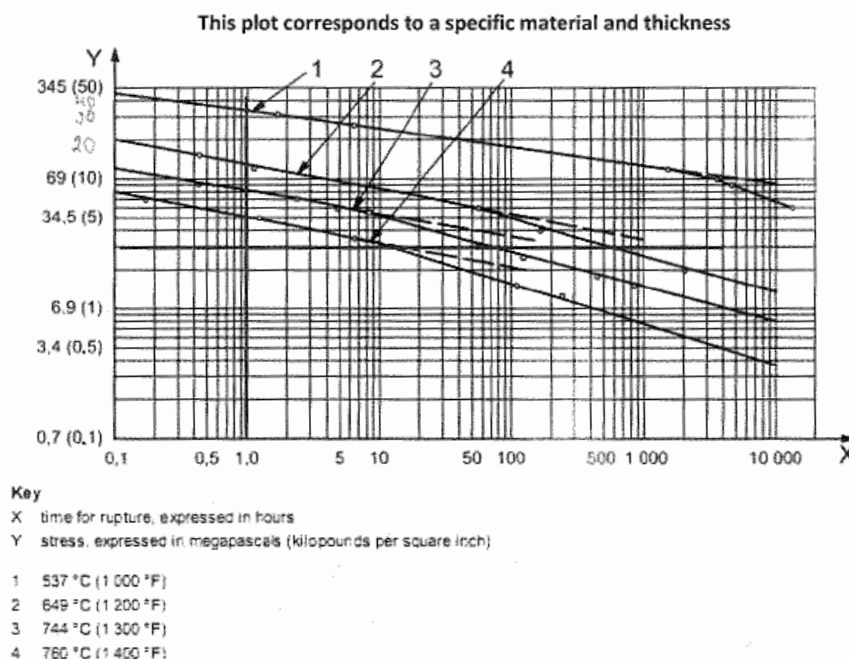


Figure 2 — Effect of overheating carbon steel (ASTM A515, Grade 70)

Fig. 6.2.6.1. Gràfica Tensió – Temps de seguretat (gràfica 2)

6.3 Metodologia

La metodologia creada consta de cinc passos per obtenir el temps de seguretat. El procés consisteix en ampliar, consultar i estructurar la informació de les gràfiques perquè sigui de gran utilitat. Posteriorment, aquest esquema queda recollit i automatitzat a l'eina.

1. En primer lloc, l'empresa proporciona el gruix (e) del separador i un temps del foc (t_{foc}) determinat, és a dir, la durada que porta el dipòsit sent escalfat per l'incendi.
2. A continuació, es consulta al gràfic 1 amb les dades que es disposa i s'extreu la temperatura (T) exterior del vessel en aquell instant.

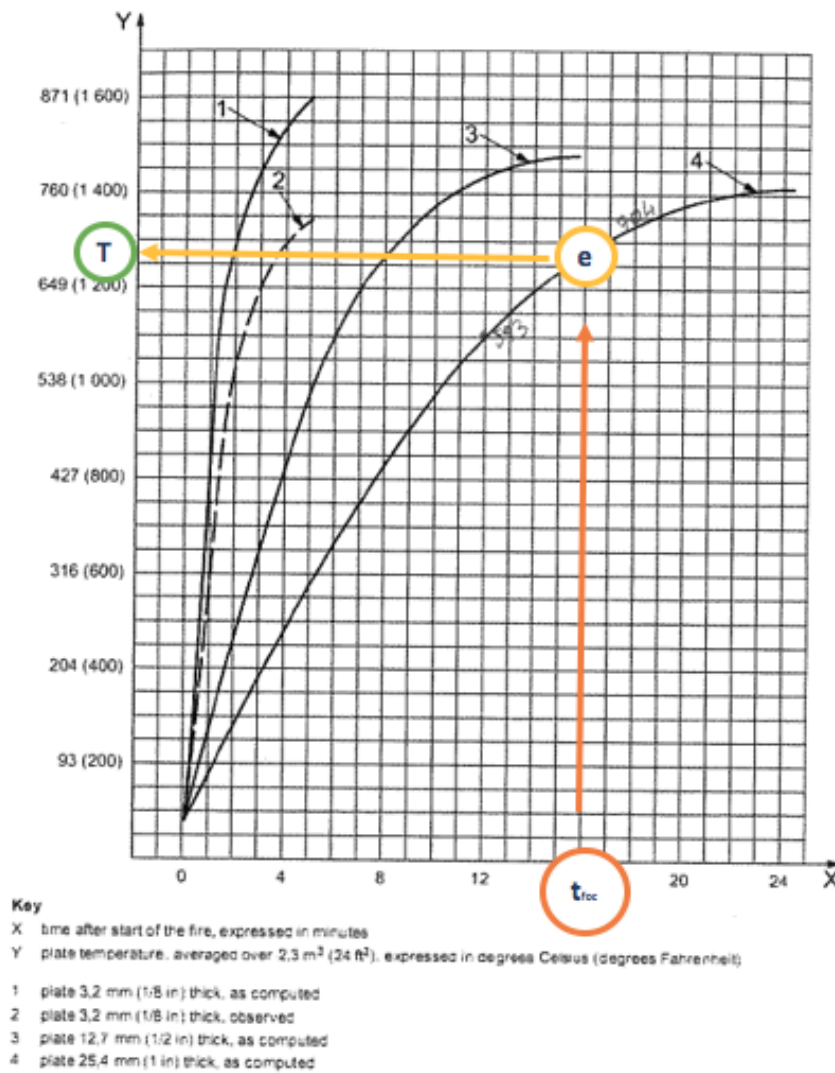


Fig. 6.3.1 Gràfica Temperatura exterior- Temps d'exposició al foc

3. Per altra banda, InProcess facilita la pressió (P) dins el separador en aquell instant i el radi del separador. Generalment, se suposa que el rendiment (E) és del 100%. Per tant, es pot aplicar la fórmula de la tensió (σ) i descobrir la tensió de ruptura en aquestes condicions de pressió.

$$\sigma = P(R + 0,6 e) E \cdot e$$

4. Un cop es coneix la temperatura exterior del vessel (T) i la tensió (σ) es pot consultar la gràfica 2. S'identifica la tensió de ruptura i la isoterma que correspon a la temperatura exterior del separador trobada.

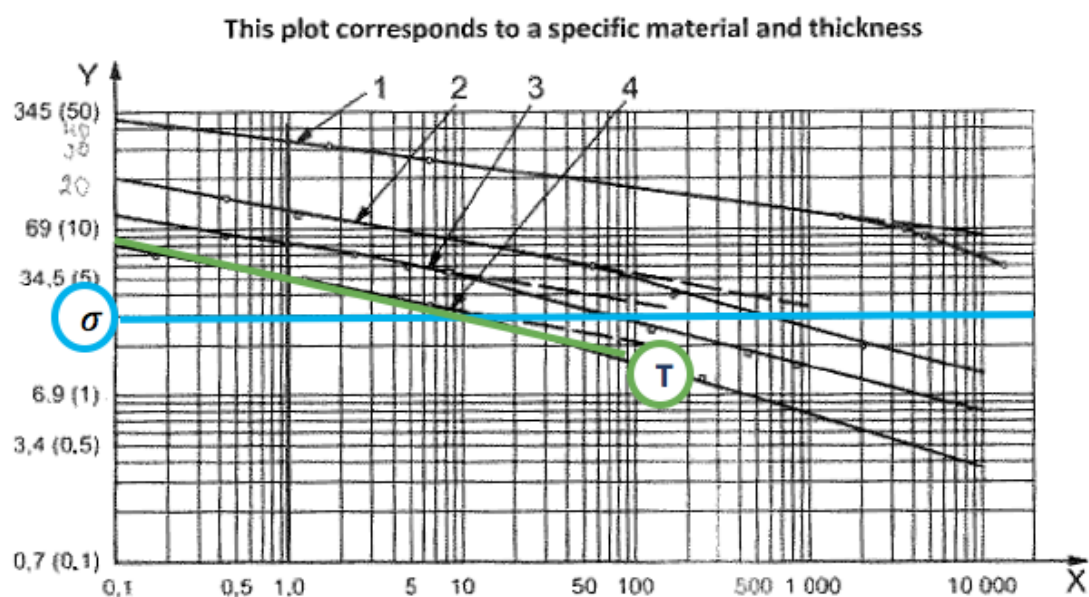


Fig. 6.2.2.2 Gràfica Tensió- Temps de seguretat

5. Finalment, el punt on es creua la tensió de ruptura i la isoterma, indica el punt en que a aquella temperatura exterior el separador es trenca. Consultant les abscisses d'aquest punt, s'obté la durada d'hores amb que s'arriba a aquesta situació, és a dir, el temps de seguretat.

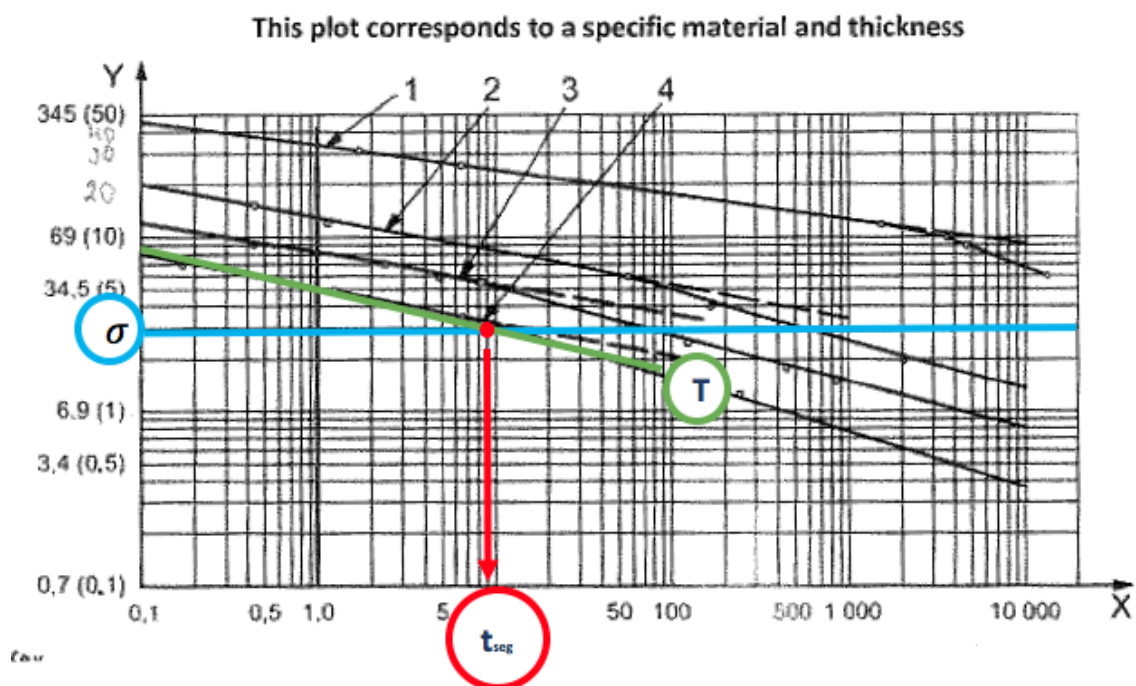


Fig. 6.2.2.3 Gràfica Tensió- Temps de seguretat

6.4 Metodologia amb Excel

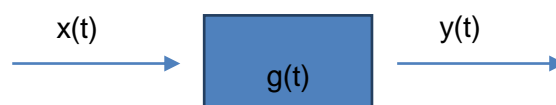
La metodologia que es pretén portar a terme en la programació de l'eina requereix de totes les dades disponibles per ser executada. Tanmateix, a les gràfiques mostrades anteriorment tan sols apareixen corbes de determinats gruixos (gràfica 1) i temperatures (gràfica 2). Què passaria si en lloc d'aquests gruixos (e) el separador té un altre espessor? I si el dipòsit es troba a una temperatura exterior (T) diferent de les quatre isoterms dibuixades? En aquest apartat, es vol donar resposta a preguntes com aquestes amb la finalitat de poder trobar el temps de seguretat en qualsevol situació.

Per aconseguir-ho, partint de les corbes inicials es volen obtenir les corbes per qualsevol gruix i temperatura. Així doncs, s'elabora una equació, que donat un gruix qualsevol, permeti obtenir la corba d'aquest espessor a la gràfica Temperatura - Temps del foc. Seguidament, es desenvolupa una equació que donada una temperatura, genera l'equació de la isoterma d'aquella temperatura en la gràfica 2. Per tant, en primer lloc s'estudia la gràfica 1 i posteriorment la 2 amb l'ajuda dels programes Clicker i Microsoft Excel.

6.4.1 Gràfica 1: Temperatura- Temps del foc

Sistema de primer ordre

Per estudiar les corbes de la gràfica Temperatura – Temps del foc s'utilitzen mètodes de dinàmica de sistemes. Es considera que el fenomen de l'escalfor de l'incendi transmès a la paret del separador és un sistema dinàmic, ja que el seu estat evoluciona en el temps. El sistema rep una entrada $x(t)$ i genera una sortida $y(t)$. En el cas del vessel, l'entrada és la calor del foc i la resposta és l'increment de temperatura de la paret exterior del dipòsit. La funció que relaciona l'entrada i la sortida es denomina funció de transferència $g(t)$:



Es treballa en el domini de Laplace (s), deixant enrere el temporal (t) ja que es presta especialment per treballar amb el concepte de funció de transferència i ofereix una resolució matemàtica més senzilla.



Funció de transferència:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

$X(s)$: Δ calor del foc

$Y(s)$: Δ Temperatura separador

Els sistemes dinàmics poden rebre entrades de molts tipus les quals es relacionen amb un model. En el cas de la calor del foc, s'associa a una entrada graó ja que és un canvi abrupte pel sistema però que tendeix a un estat estacionari. A continuació, es mostra una entrada graó $x(t)$ que s'inicia a l'instant $t=1$ i d'amplitud 3:

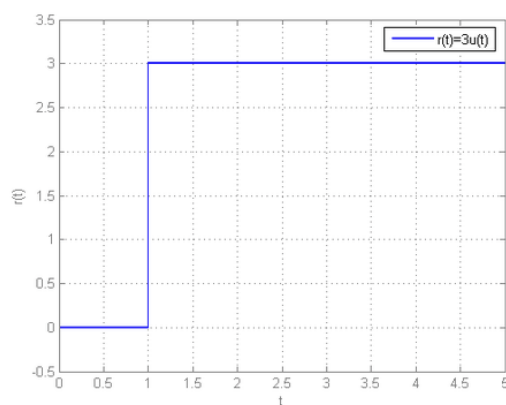


Fig.. 6.4.1.1 Entrada graó

Concretament, existeixen uns sistemes que davant d'una entrada graó $x(t)$ generen una resposta $y(t)$ en forma de corba com la següent:

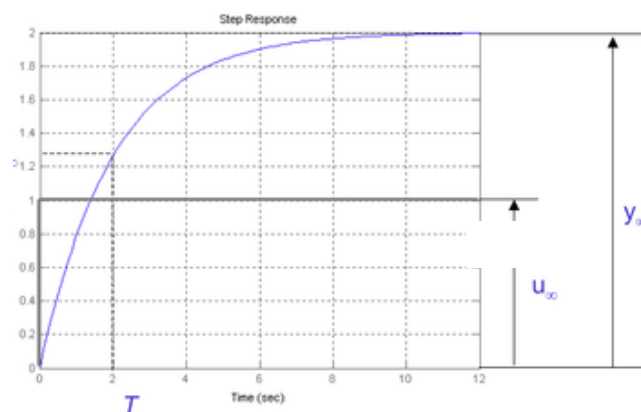
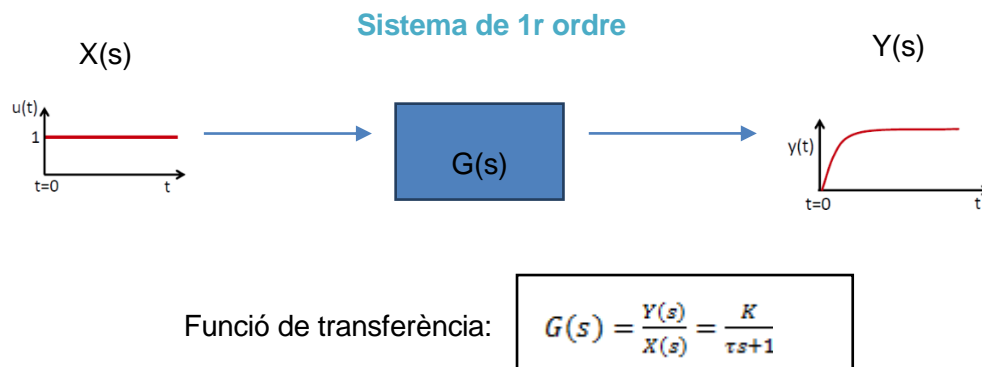


Fig.. 6.4.1.2 Sortida/Resposta del sistema $g(t)$

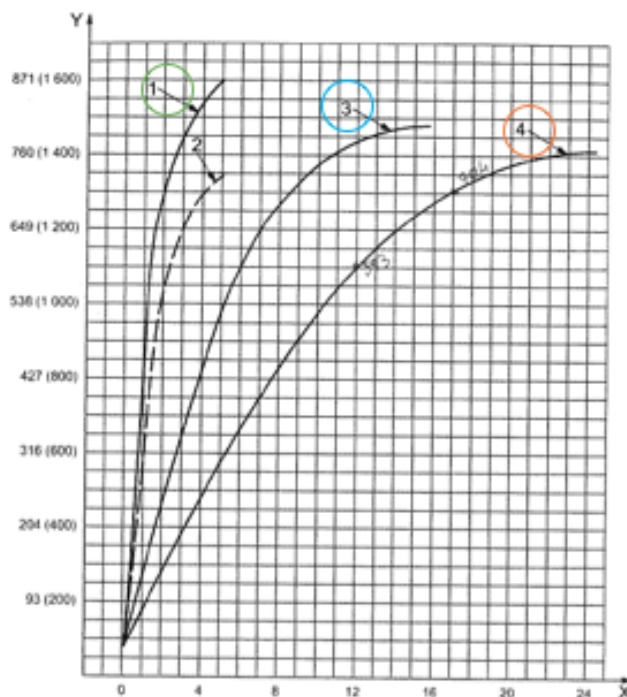
Aquests sistemes són els de primer ordre. Per la seva similitud amb les corbes de la gràfica Temperatura - Temps del foc, el fenomen que es dóna al separador s'associa a un comportament d'un sistema de primer ordre. Els sistemes d'aquest tipus es caracteritzen per tenir una funció de transferència com la següent:



K: Guany

τ : Constant de temps

Tornant a la gràfica 1, cada corba representa l'increment de temperatura de la paret del separador degut a un incendi. Depenent del gruix, el separador augmenta la temperatura amb més o menys rapidesa. Per tant, es pot concloure que el sistema dinàmic separador depèn de l'espessor i els seus paràmetres també. Així doncs, cada corba de la gràfica 1 correspon a un sistema dinàmic separador, amb un guany en estat estacionari K i una constant de temps τ concrets. Aquests sistemes davant d'una entrada calor del foc, explicat amb un temps del foc, donen lloc a una resposta, increment de temperatura. El comportament de cada sistema enfront el fenomen s'explica amb les corbes i funcions de transferència següents:



$$G_1(s) = \frac{K_1}{\tau_1 s + 1}$$

$$G_3(s) = \frac{K_3}{\tau_3 s + 1}$$

$$G_4(s) = \frac{K_4}{\tau_4 s + 1}$$

Fig. 6.4.1.3 Gràfica Temperatura- Temps del foc

Tot i així, observant amb precisió el naixement de les gràfiques es comprova que existeix un retard. Això significa que quan s'aplica una entrada graó al sistema, aquest tarda uns instants a reaccionar i executar la sortida. Per tant, la funció de transferència de les corbes ha d'incloure un paràmetre que expliqui el retard la resposta. El paràmetre de retard, també anomenat temps mort, es designa amb la lletra θ . Seguidament, es presenta una gràfica d'un sistema al qual també se li aplica una entrada graó i la resposta es dona amb un retard en el temps T_1 . També s'indiquen les funcions de transferència més acurades per les tres corbes de la gràfica 1:

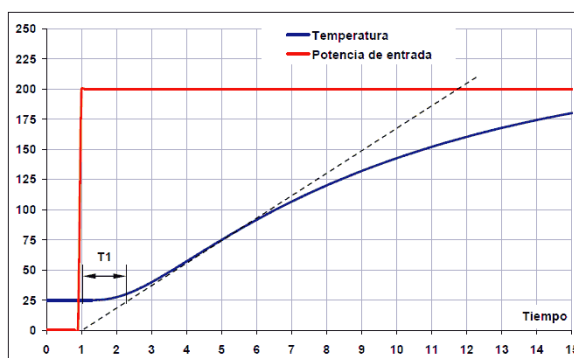


Fig. 6.4.1.4 Resposta de sistema amb retard davant entrada graó

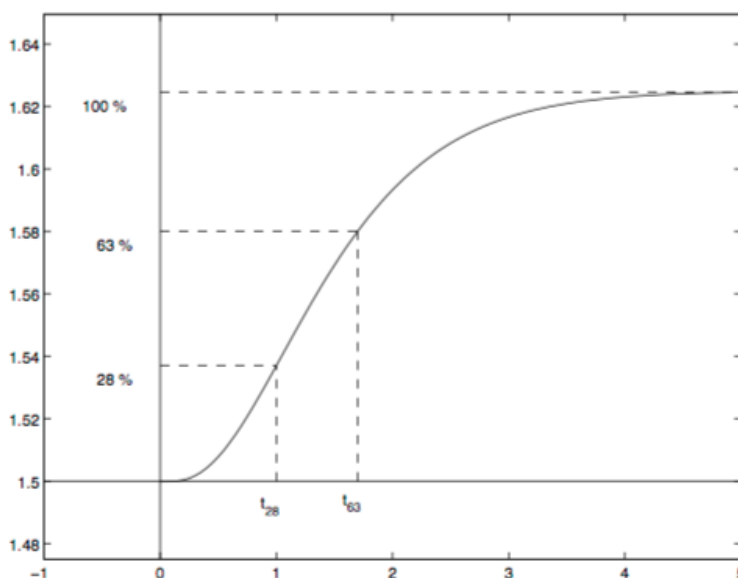
$$G_1(s) = \frac{K_1 \cdot e^{-\theta_1 \cdot s}}{\tau_1 s + 1}$$

$$G_3(s) = \frac{K_3 \cdot e^{-\theta_3 \cdot s}}{\tau_3 s + 1}$$

$$G_4(s) = \frac{K_4 \cdot e^{-\theta_4 \cdot s}}{\tau_4 s + 1}$$

Un cop se sap la forma de l'equació de les corbes, cal esbrinar els paràmetres de cada una d'elles. Per una banda, el guany K representa l'amplitud de la corba. A la corba 1 es mostra clarament que el guany és de 1600 °F. Aquesta K s'utilitza per totes les corbes ja que es considera la temperatura màxima a la què s'arriba independentment del gruix. En conseqüència K_1 , K_3 i K_4 són 1600.

Per altra banda, les constants de temps τ i θ s'obtenen a partir de les corbes de la gràfica 1. La constant de temps τ i el temps mort θ es troben a partir de dues equacions relacionades amb el valor que pren la resposta en dos instants de temps concrets. Així doncs:



$$(1) \quad t_{63,2\%} = \tau + \theta$$

$$(2) \quad t_{28,3\%} = \frac{\tau}{3} + \theta$$

Fig. 6.4.1.5 Aproximació del temps mort i la constant de temps dels sistemes

Punts de les corbes

Per trobar els paràmetres característics de les tres funcions de transferència cal trobar els punts que formen les tres corbes. Per obtenir els punts amb més precisió s'utilitza el programa Clicker. A continuació, es desenvolupa el senzill funcionament del programa per obtenir una corba:

1. Es carrega la gràfica al programa.

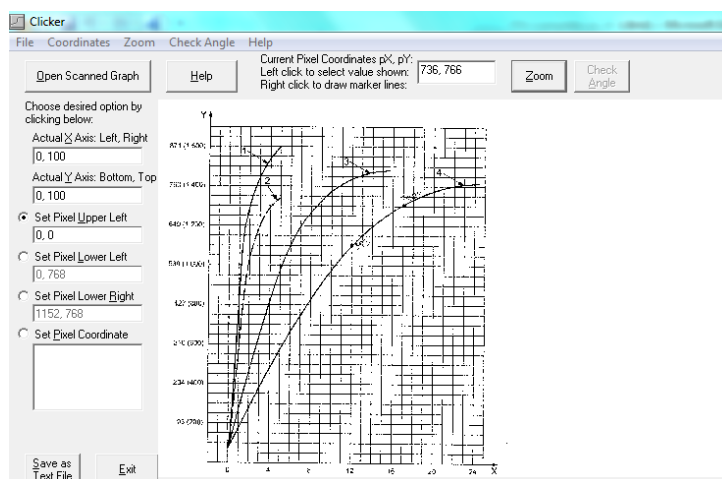


Fig. 6.4.1.6 Importació de la gràfica amb Clicker

2. S'indiquen els eixos i els marges superior esquerra, inferior esquerra i inferior dret.

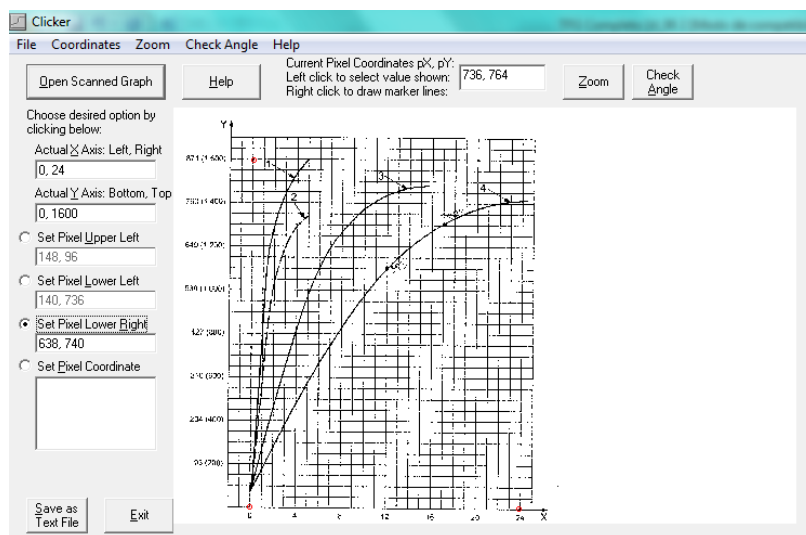


Fig. 6.4.1.7 Definició del contorn amb Clicker

3. Es fa zoom i amb el cursor, es fa clic en els punts que interessen de la corba.

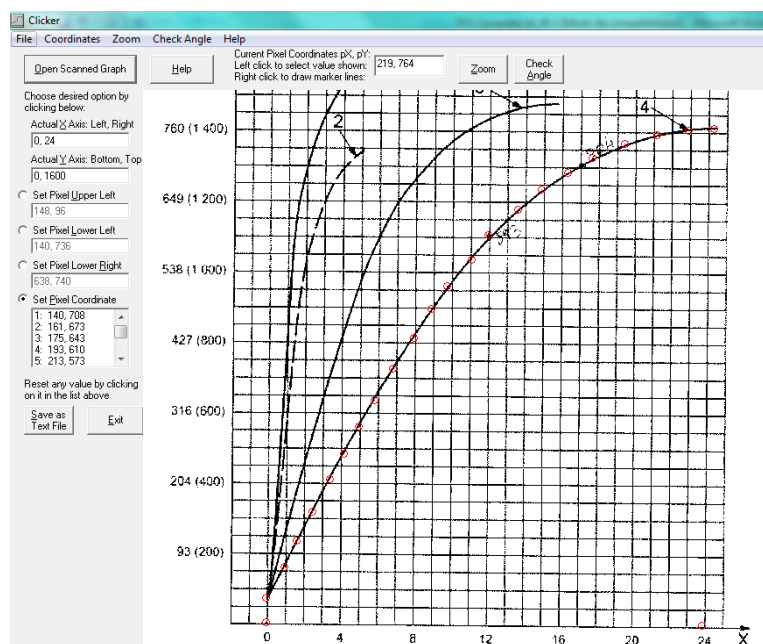


Fig. 6.4.1.8 Punts de la corba amb Clicker

4. Simultàniament, Clicker crea un document Excel amb els punts obtinguts.

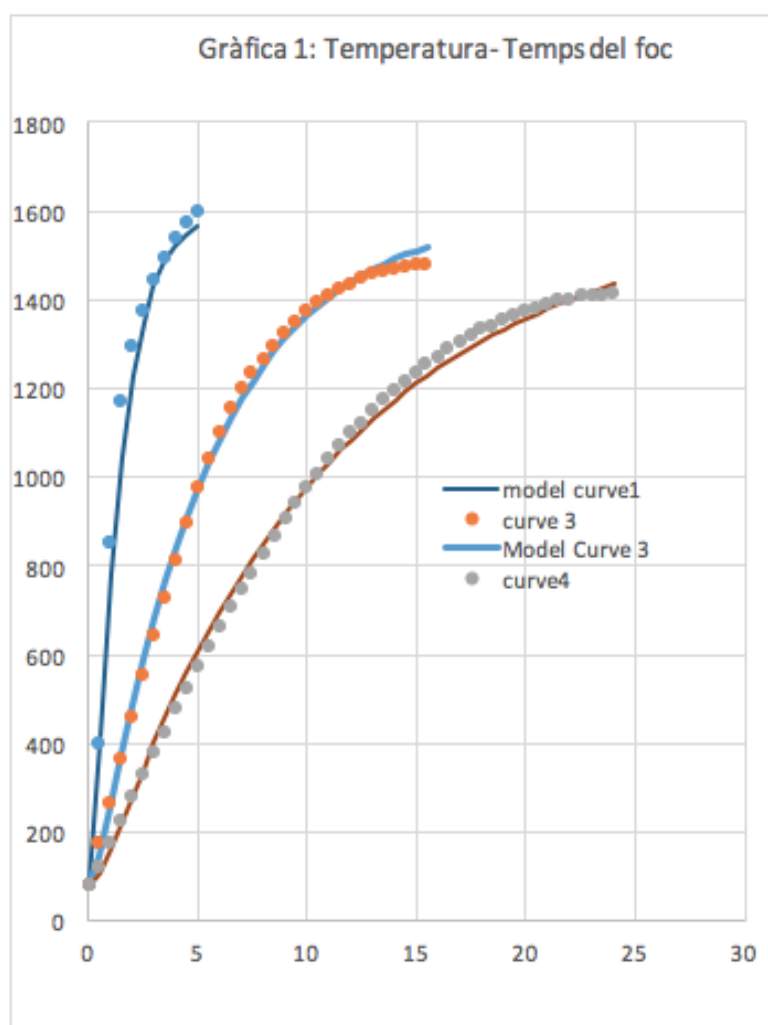
Pixel Reference Points			Actual Reference Points			Rotated Pixel Reference Points	
Lower Left	pX(LL)	pY(LL)	X axis	X(Left)	X(Right)	pX(LL)	pY(LL)
	140	736		0	24	140	736
Upper Left	pX(UL)	pY(UL)		Y(Bottom)	Y(Top)	pX(UL)	pY(UL)
	148	96	Y axis	0	1600	148	96
Lower Right	pX(LR)	pY(LR)	Angle of Orientation of Graph			pX(LR)	pY(LR)
	638	740	0 Radians			638	740
			cos(Angle)				
			1				
			sin(Angle)				
			0				
Data Point Number	pX	pY	pX(coord)	pY(coord)	X	Y	
1	140	708	140	708	0	70	
2	161	673	161	673	1,012048	157,5	
3	175	643	175	643	1,686747	232,5	
4	193	610	193	610	2,554217	315	
5	213	573	213	573	3,518072	407,5	
6	229	544	229	544	4,289157	480	
7	246	513	246	513	5,108434	557,5	
8	264	483	264	483	5,975904	632,5	
9	285	447	285	447	6,987952	722,5	
10	309	412	309	412	8,144578	810	
11	329	379	329	379	9,108434	892,5	
12	347	353	347	353	9,975904	957,5	
13	375	323	375	323	11,3253	1032,5	
14	394	295	394	295	12,24096	1102,5	
15	428	266	428	266	13,87952	1175	
16	455	243	455	243	15,18072	1232,5	
17	485	224	485	224	16,62651	1280	
18	513	207	513	207	17,9759	1322,5	
19	550	191	550	191	19,75904	1362,5	
20	587	181	587	181	21,54217	1387,5	
21	623	176	623	176	23,27711	1400	
22	652	174	652	174	24,6747	1405	

Fig. 6.4.1.9 Taula d'Excel obtinguda

Les ordenades i abscisses de les funcions són acurades ja que s'obtenen per proporcionalitat amb els marges indicats a l'inici.

Constants de temps generalitzades

A partir de les x i y precises, es pot trobar la τ i θ per separadors de qualsevol gruix. En primer lloc, es dibuixen les tres corbes:



Corba 1 (e=3,2 mm)
Corba 3 (e=12,7 mm)
Corba 4 (e=25,4 mm)

Fig.. 6.4.1.10 Gràfica 1

Sabent que el guany en estat estacionari $K = 1600$ °F, es dedueix que el 63,2% d'aquest valor final és 1011,2 °F i el 28,3% del valor final és 452,8 °F.

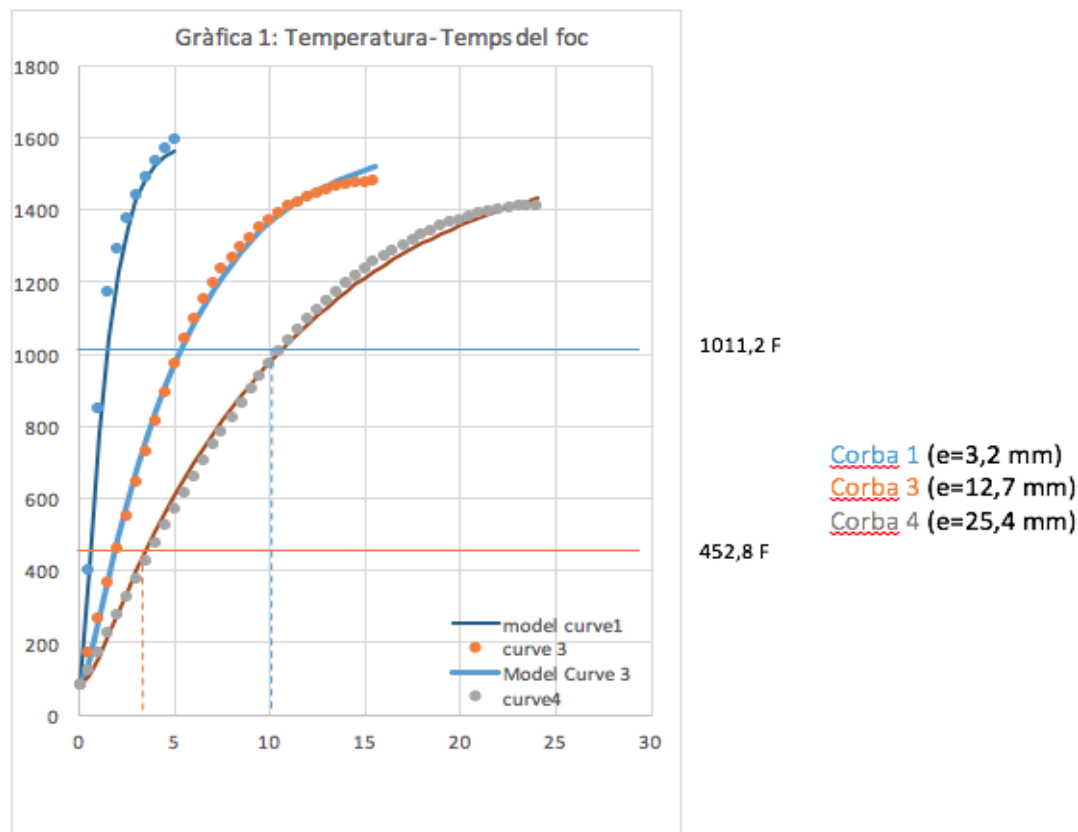


Fig.. 6.4.1.11 Gràfica 1

Del punt de tall entre la recta blava de 1011,2 F i cada corba es troba $t_{63,2\%}$ i de la recta taronja de 452,8 F s'obté el $t_{28,3\%}$. Aquests valors juntament amb el sistema d'equacions plantejat a la figura 6.4.1.5 permeten extreure les constants de temps i els temps morts de cada corba. A continuació, es presenta la taula resum pels tres espessors és:

GRÀFICA	ESPESSOR (e)	CT. DE TEMPS	TEMPS MORT
1	3,2	1,26	0,25
3	12,7	5,15	0,4
4	25,4	10,6	0,5

Fig.. 6.4.1.12 Constants de temps i temps mort

D'aquesta manera, es coneix la funció de transferència de les tres corbes, les quals es poden dibuixar mitjançant el programa HYSIS. És un simulador molt utilitzat en la indústria petroquímica.

El següent pas, és trobar les constants de temps per qualsevol gruix. Amb la taula anterior s'observa que existeix una relació entre gruix i constants, a mesura que augmenta el gruix les constants de temps són majors. Per tant, es busquen raons (α_1 , α_2) que relacionin les constants amb el gruix:

$$\tau = \alpha_1 \cdot e$$

$$\theta = \alpha_2 \cdot e$$

Es procedeix a dibuixar una gràfica amb les tres τ i es dedueix una relació entre els paràmetres. Igualment passa amb la constant del temps mort. Per recollir tota la informació en una gràfica s'ha dibuixat a les ordenades la divisió del gruix entre constant de temps, a la dreta e/τ i a l'esquerra e/θ , i a les abscisses els espessors:

GRÀFICA	ESPESSOR (e)	CT. DE TEMPS	e/τ
1	3,2	1,26	2,54
3	12,7	5,15	2,47
4	25,4	10,6	2,4

Fig.. 6.4.1.13 Constant de temps i e/τ

GRÀFICA	ESPESSOR (e)	TEMPS MORT	e/θ
1	3,2	0,25	12,8
3	12,7	0,4	31,8
4	25,4	0,5	50,8

Fig.. 6.4.1.14 Temps mort i e/θ

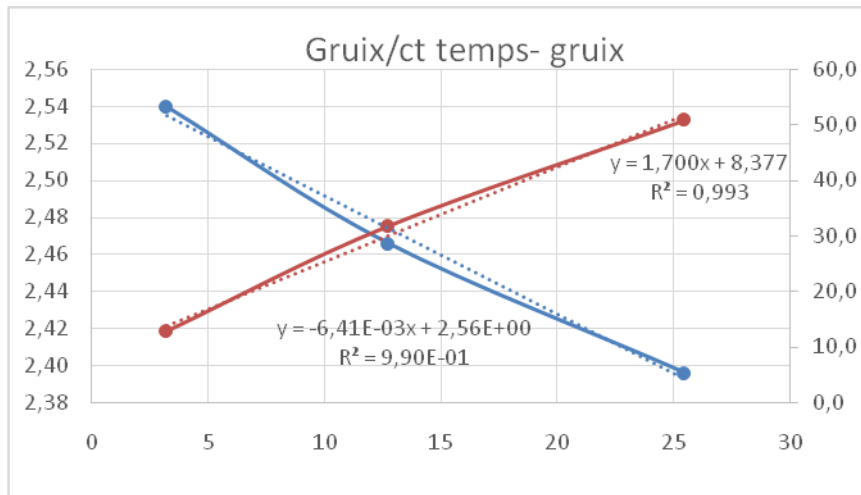


Fig.. 6.4.1.15 Constants de temps i temps mort

Es considera que tant la constant de temps com el temps mort segueixen una tendència lineal. La primera amb pendent negativa i la segona amb pendent positiva. Precisament, aquestes rectes de regressió és la relació existent entre un separador d'un gruix determinat i la seves constants de temps associades. Sabent que les rectes són de l'estil següent, es conclou:

$$y = ax + b$$

$$\frac{e}{\tau} = a e + b$$

$$\frac{e}{\theta} = c e + d$$

$$\tau = \frac{e}{2,55 - 0,064 e}$$

$$\theta = \frac{e}{8,38 + 1,70 e}$$

Fig. 6.4.1.14 Constants de temps generalitzades

Finalment, se sap que el sistema separador és de primer ordre amb retard i que la seva funció de transferència es caracteritza per τ i θ . Es comprova que les dues relacions trobades serveixen per obtenir les constant de temps i en conseqüència, la funció de transferència de qualsevol gruix del dipòsit:

$$G_1(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\Delta \text{Temperatura}(s)}{\Delta \text{Calor foc}(s)} = \frac{K_1 \cdot e^{-\theta_1 s}}{\tau_1 s + 1}$$

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-\theta \cdot s}}{\tau s + 1} = \frac{1600 \cdot e^{-\left(\frac{\text{gruix (mm)}}{8,38 + 1,7 \text{ gruix}}\right) \cdot s}}{\left(\frac{\text{gruix}}{2,55 - 0,064 \text{ gruix}}\right) \cdot s + 1}$$

Fig. 6.4.1.16 Funció de transferència generalitzada

Donat un gruix, s'elabora la funció de transferència per aquell separador i amb el programa HYSIS s'elabora la corba desitjada. Juntament amb el temps del foc donat es troba la temperatura exterior de la paret del vessel.

6.4.2 Gràfica 2: Tensió- Temps de seguretat

Anàlogament a la metodologia emprada a l'apartat anterior per trobar els paràmetres de la gràfica 1, s'ha procedit a trobar els valors de les corbes proporcionades pel gràfic de Tensió – Temps de seguretat. També s'utilitza el software Clicker. En primera instància, s'agafa punts d'un tram corresponent a la primera hora de l'incendi, ja que es considera la durada més crítica. A més, és la part més representativa de com evoluciona la tensió amb temps futurs.

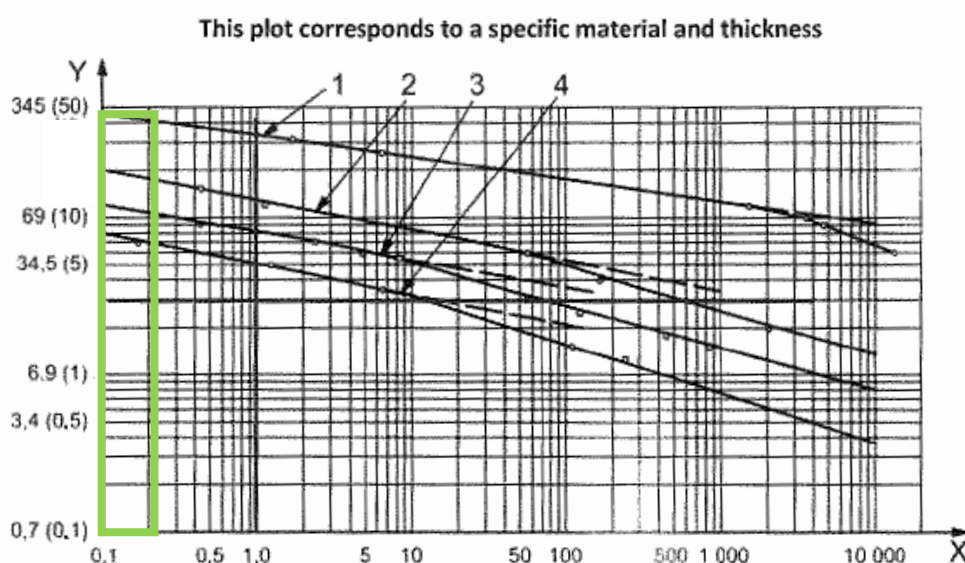


Fig. 6.4.2.2 Gràfica 2 tram crític indicat

La gràfica que es presenta a continuació, és l'evolució de la tensió expressada en psig a l'eix de les ordenades. A l'eix de les abscisses s'indica el temps de ruptura expressat en hores. Les corbes són isoterms corresponents a diverses temperatures exteriors de la paret del dipòsit.

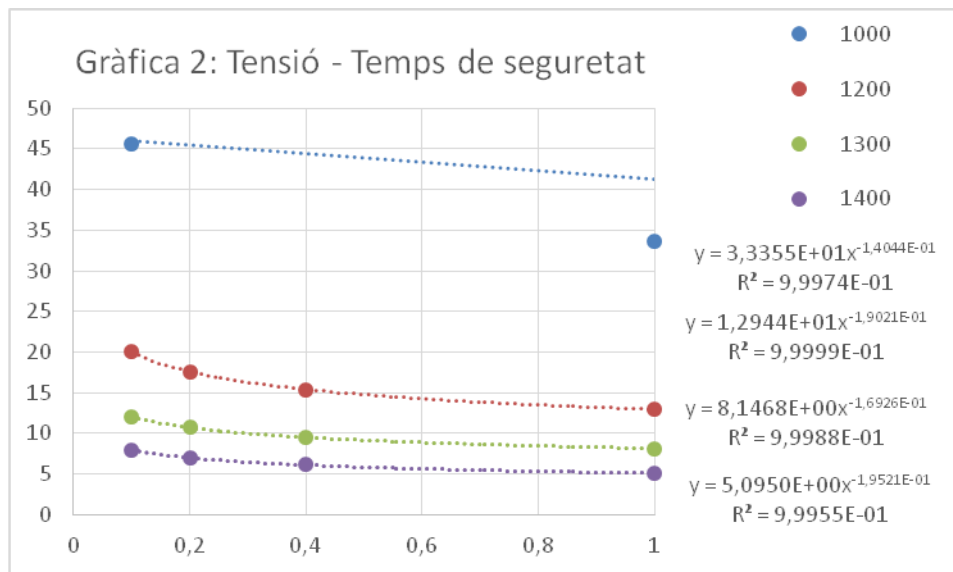


Fig.. 6.4.2.1 Gràfica 2, tram 1 hora

Un cop obtingudes les corbes d'aquest primer tram, s'observa que les regressions que millor s'hi ajusten són les potencials. Amb la qual cosa, s'obtenen equacions de la forma:

$$\sigma = A \cdot t_{\text{seg}}^B$$

Per tant, es busquen dues equacions que permeten expressar els paràmetres A i B en funció únicament de la temperatura i així poder trobar una equació generalitzada per qualsevol isoterma, partint de les quatre corbes conegudes. Per aconseguir-ho, cal estudiar els paràmetres que caracteritzen la corba.

ISOTERMA	TEMPERATURA (F)	A	B
1	1000	33,35	-0,1404
2	1200	12,94	-0,1902
3	1300	8,147	-0,1692
4	1400	5,095	-0,195

Fig.. 6.4.2.2 Constants A i B

Seguidament, s'observa l'evolució d'aquests, obtenint les equacions de regressió pertinents en ambdós casos. A la gràfica següent, estan expressats els valors de les constants A i B, a l'eix de les ordenades a esquerra i dreta, respectivament. La temperatura es situa a l'eix de les abscisses. Així doncs, es troba que l'equació que millor s'ajusta a la variable A és una exponencial, mentre que la variable B ve expressada per una equació polinòmica de segon ordre. Aquestes, només depenen de la temperatura exterior del dipòsit, que és el valor que s'ha obtingut prèviament a partir de la gràfica 1.

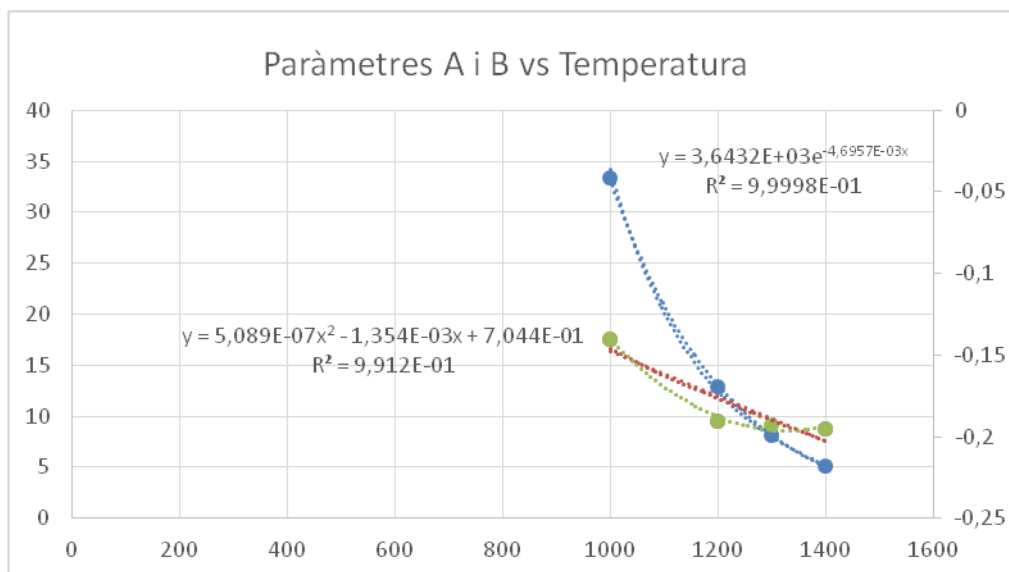


Fig.. 6.4.2.3 Gràfica paràmetres A i B vs Temperatura

Un cop obtinguts els valors dels paràmetres A i B, s'obté l'equació final de la isoterma. Seguint la metodologia explicada amb deteniment a l'apartat 6.3, el punt on es creuen la isoterma i el valor de la tensió de ruptura, dona informació del paràmetre que es vol conèixer: el temps de ruptura.

Finalment, després d'estudiar les regressions d'ambdós paràmetres, es decideix negligir el paràmetre B de la isoterma 3, ja que es veu i es comprova que els resultats obtinguts sense tenir en compte aquest valor tenen més sentit. Això és a causa de que s'entén que la B ha d'anar disminuint progressivament, i el fet de que el paràmetre B₃ crea un mínim i les següents B tornen a augmentar no es considera lògic. Així doncs, les equacions amb les què es procedeix a aïllar el temps de seguretat són les següents:

$$(1) \quad A(T(^{\circ}\text{F})) = 3643e^{-0.004696T(^{\circ}\text{F})}$$

$$(2) \quad B(T(^{\circ}\text{F})) = 5.089E-7 \cdot T(^{\circ}\text{F})^2 - 0.001354 \cdot T(^{\circ}\text{F}) + 0.7044$$

Per tant, coneguts aquests valors, es pot conèixer l'equació de la isoterma a qualsevol temperatura. Juntament amb la tensió de ruptura obtinguda, s'aïlla el temps de seguretat de l'equació plantejada a l'inici d'aquest apartat. Recuperant l'equació anterior, es té:

$$\sigma(\text{psig}) = A \cdot t_{\text{seg}}(h)^B$$

$$\ln \frac{\sigma(\text{psig})}{A} = B \cdot \ln t_{\text{seg}}(h)$$

$$\frac{\ln \sigma(psig) - \ln A}{B} = \ln tseg(h)$$

$$e^{\frac{\ln \sigma(psig) - \ln A}{B}} = tseg(h)$$

$$e^{\frac{\ln \sigma(psig) - \ln A}{B}} = tseg(h)$$

$$tseg(h) = e^{\frac{\ln \sigma(psig) - \ln(3643 \cdot e^{-0.004696T(^{\circ}F)})}{5.089E-7 \cdot T(^{\circ}F)^2 - 0.001354 \cdot T(^{\circ}F) + 0.7044}}$$

S'arriba doncs a l'expressió desitjada que deixa el temps de seguretat únicament en funció de la temperatura exterior del dipòsit. Tal i com s'espera, aquest temps també depèn de la tensió de ruptura σ . Aquest fet es dona ja que el valor del temps de seguretat resulta de trobar, en el gràfic 2, la intersecció entre la línia horitzontal de la $\sigma_{ruptura}$ amb la isoterma corresponent a la temperatura del dipòsit, calculada a partir dels paràmetres A i B.

7. Resultats

7.1. Casos habituals amb HYSYS

L'estudi per obtenir el temps de seguretat aporta una informació valuosa a l'hora d'optimitzar els processos de la indústria petrolera. Com s'explica a l'apartat 4.3.5, fins ara moltes empreses petroleres apliquen l'exemple de l'American Petroleum Institut (API) que estableix que per un separador d'un gruix determinat en situació d'incendi, cal reduir la pressió del separador a la meitat en 15 minuts. Això genera un temps de seguretat determinat. En canvi, l'estudi del treball parteix de l'afirmació de l'API que indica que la despressurització ha de permetre mantenir la tensió per sota de la tensió de ruptura. Per tant, els resultats del projecte proporcionen un temps de ruptura més acurat segons la situació específica. En conseqüència, aporten un disseny de separadors més polivalent i un procés més optimitzat.

A continuació, es mostra un cas pràctic per entendre la rellevància i aplicació dels resultats de l'estudi. El programa HYSYS, mencionat prèviament, és un simulador de processos d'equipaments de petroleres. El programa té nombroses funcionalitats com dissenyar els equipaments segons els estàndards utilitzats, millorar les operacions i portar a terme la planificació de la refineria, optimitzar la planta, assegurar el procés de seguretat, obtenir una visió detallada de la destil·lació i utilitzar models per donar suport a les operacions. En primer lloc, cal dissenyar la planta. Seguint l'exemple del treball, es presenta un tipus de separador amb vàlvules de gas i líquids en situació d'emergència. Un cop es programa, HYSYS ofereix una visió com la següent:

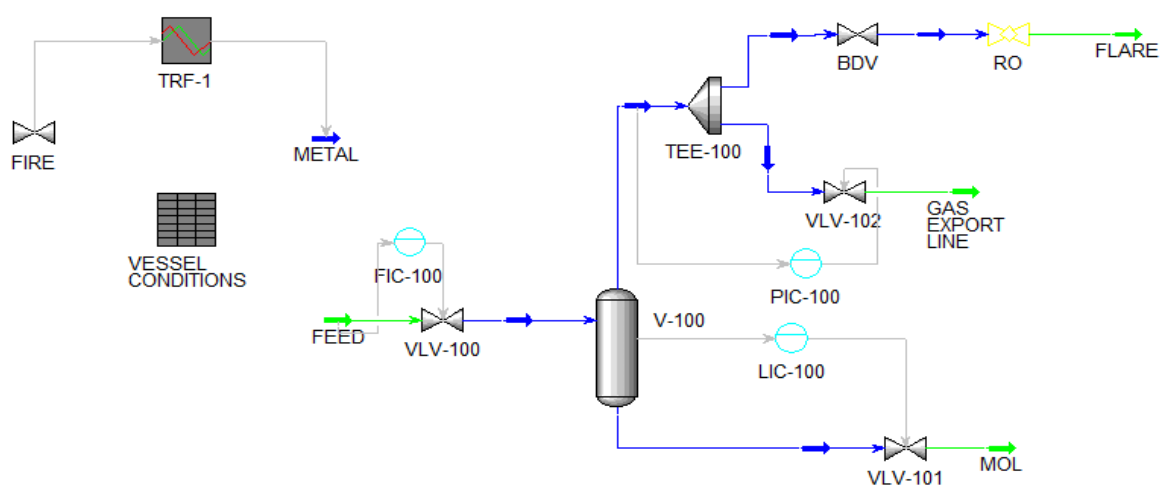


Fig.. 7.1.1 Part de planta petroliera en HYSYS

A la figura es distingeixen diversos elements: el separador (V-100), la vàlvula d'entrada (VLV-100), la vàlvula de gas (VLV-102), la vàlvula de líquids (VLV-101), entre d'altres. També existeix un panell de control (VESSEL CONDITIONS) el qual serveix per incorporar les circumstàncies desitjades per la simulació. En aquest cas, es tria una situació d'incendi. Concretament, en aquest estat una part de la planta queda inactiva i un altra passa a fer l'acció més important, la despressurització.

En la situació d'emergència, l'escalfor del foc augmenta la temperatura de la paret del separador i per evitar que el dipòsit arribi ràpidament a la tensió de ruptura, cal disminuir la pressió. Com ja és sabut, d'aquesta manera augmenta el temps de ruptura. Per fer-ho, cal cancel·lar l'acció de separació de substàncies del dipòsit tancant totes les vàlvules. Aleshores, l'element TEE-100 condueix el gas que surt del vessel a la vàlvula de despressurització BDV. Aquest gas arriba al restricted orifice (RO) i finalment a una flama on s'elimina el fluid. Per tant, com es mostra a continuació la zona **vermella** resta inactiva i la zona **verda** s'activa:

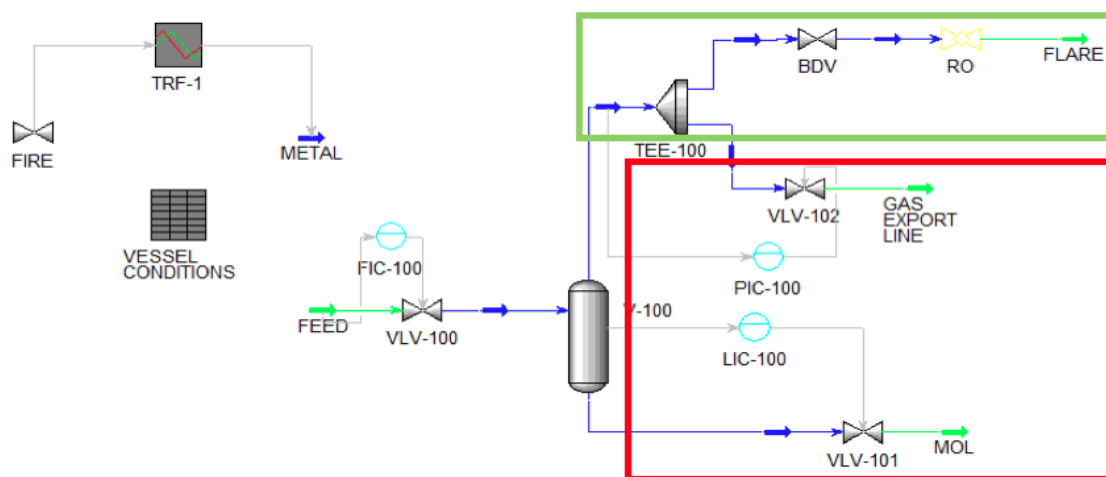


Fig.. 7.1.2 Activació del procés de despressurització

El procés verd, de despressurització, consisteix en què quan el separador poseeix una pressió massa elevada, s'evacua el gas mitjançant els elements de la zona verda. Precisament, la mida de l'orifici de restricció (RO) és la responsable de la rapidesa de la despressurització. Així doncs, si aquest és molt gran, surt més cabal de gas i el separador disminueix la pressió amb més velocitat. En canvi, si aquest és més petit, la despressurització es dona més lentament. Es tracta de dissenyar un RO adequat per les característiques del separador i els equips amb la finalitat de controlar la pressió, i per tant la tensió de ruptura, i obtenir el temps de ruptura desitjat.

Un cop es troba la metodologia per trobar el temps de ruptura o de seguretat òptim així com les equacions per executar la metodologia, cal programar-ho amb Hysis per obtenir els resultats. Primer, es seleccionen els elements de la planta com la Figura 7.1.1 i es procedeix a programar les dimensions del separador, com el gruix (e), i la resta d'elements. També s'indica l'evolució de la pressió (P), la qual depèn de la dimensió del RO, i el temps que porta el foc cremant (t_{foc}). Posteriorment, es programa la funció de transferència del sistema la qual se sap que és de primer ordre amb retard.

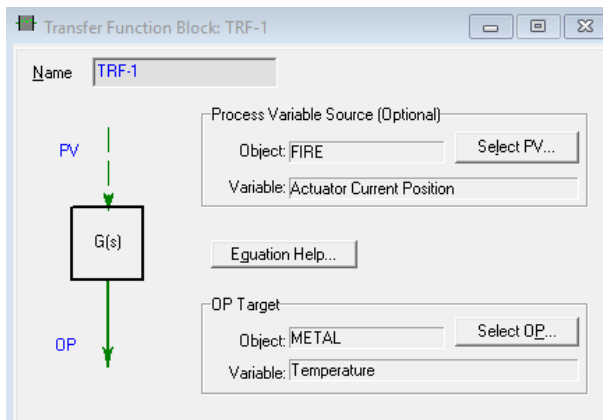


Fig.. 7.1.3 Funció de transferència amb HYSYS

Spreadsheet: VESSEL CONDITIONS

Current Cell: A1 Variable: Exportable: ☐ Angles in: ▼

	A	B	C	D	E
1		Diameter	4.000 m		
2		Thikness	2.540e-002 m		
3			637.1 seconds	29.56 seconds	
4		A	-6.410e-003	1.700	
5		B	2.555	8.378	
6			637.1 seconds	29.56 seconds	
7			lag1 ct	lag2 ct	
8				11.98	
9		Stress	136.8 bar_g	time to rupture	
10		Pressure	1.725 bar_g	11.98	
11		Temperature	1505 F		
12		alpha	2.512e+005		
13		B	-4.696e-003		
14		C	5.089e-007		
15		D	-1.354e-003		
16		E	0.7044		
17		f(T)	-0.1807 F		
18		BetaT	-7.066 F		
19		ln(P/alpha)	-7.515		
20		ln(t)	2.483		

Fig.. 7.1.4 Paràmetres físics introduïts (en blau) i calculats per HYSYS (en vermell)

Després, cal decidir els percentatges de cada component de la mescla d'hidrocarburs de l'interior del separador. També es programa la relació entre tensió i increment de temperatura del vessel. Per últim, s'inicia la simulació de la situació d'emergència i la reacció dels equips per mitjà de la despressurització. Això permet obtenir la gràfica 1, la gràfica 2 i finalment s'observa el **temps de seguretat** per aquelles circumstàncies. Amb aquesta informació es pot estudiar l'optimització del RO i adquirir el temps de seguretat necessari.

Formula Summary			
Cell	Formula	Result	
C3	+C2*1000*60/(C5+C4*C2*1000)	637.1 seconds	
C6	+C3	637.1 seconds	
C9	+((c1/2)+(0.6*C2))*C10/C2	793.4 bar_g	
C17	+C14*C11^2+C15*C11+C16	0.5993 F	
C18	+C13*C11	-0.3757 F	
C19	+@ln(C9/C12)	-5.758	
C20	+(C19-C18)/C17	-8.980	
D3	+c2*1000*60/(d5+(d4*c2*1000))	29.56 seconds	
D6	+d3	29.56 seconds	
D8	+@if(C11<800,100,@exp(C20))	100.0	
D10	+@if(D8>100,100,D8)	100.0	

Fig. 7.1.5 Càlcul dels paràmetres

La composició química del gas introduït al separador és una mescla d'hidrocarburs en la qual hi sol haver metà (C1), età (C2), propà (C3), isobutà (IC4) i pentà (C5). Habitualment, les proporcions s'indiquen en tant per u i poden ser com les esmentades a continuació:

- C1 → 2,10084033653288e-002
- C2 → 0,504201680717488
- C3 → 0,252100840323551
- IC4 → 0,201680672236443
- C5 → 2,10084033571894e-002

La planta de l'exemple ha estat dissenyada per processar 13000 barrells al dia, el que correspon a 39 T/h. A més, el separador té un volum de 150 m³ i unes dimensions de 4m

de diàmetre per 12m d'altura aproximadament. La pressió és de 10 bar i el gas entra a temperatura ambient a 25°C (80°F). Per últim, es considera un flux de gas de 20 MMSCFD. Aquests són tots els paràmetres necessaris per procedir a simular el procés de despressurització de la planta petroliera.

7.2. Anàlisi Restriction Orifice (RO) i resultats

El principal problema de les empreses petroleres que no estudien les condicions de despressurització per a gruixos i especificacions del separador utilitzat és la imprecisió del procés d'emergència. Això és perillós ja que pot provocar danys irreparables. Gràcies al nou criteri descobert es pot perfeccionar el disseny de la planta i obtenir els resultats més precisos i inclús els desitjats. Mitjançant els resultats gràfics que s'obtenen amb HYSYS, seguidament queda comprovada i explicada la informació que aporta el nova pauta.

A causa de l'incendi, la temperatura del separador augmenta. A la gràfica següent, s'observa la corba negra que representa l'increment d'aquest paràmetre en graus faranheits. Per altra banda, quan s'activa un procés de despressurització amb un forat de restricció de 9,85 in² (0,635 m²) es comprova que la tensió (stress) del separador disminueix. Per exemple, a la gràfica es veu com la tensió dins del dipòsit passa de 800 a 400 bar durant el temps de despressurització de 25 minuts.

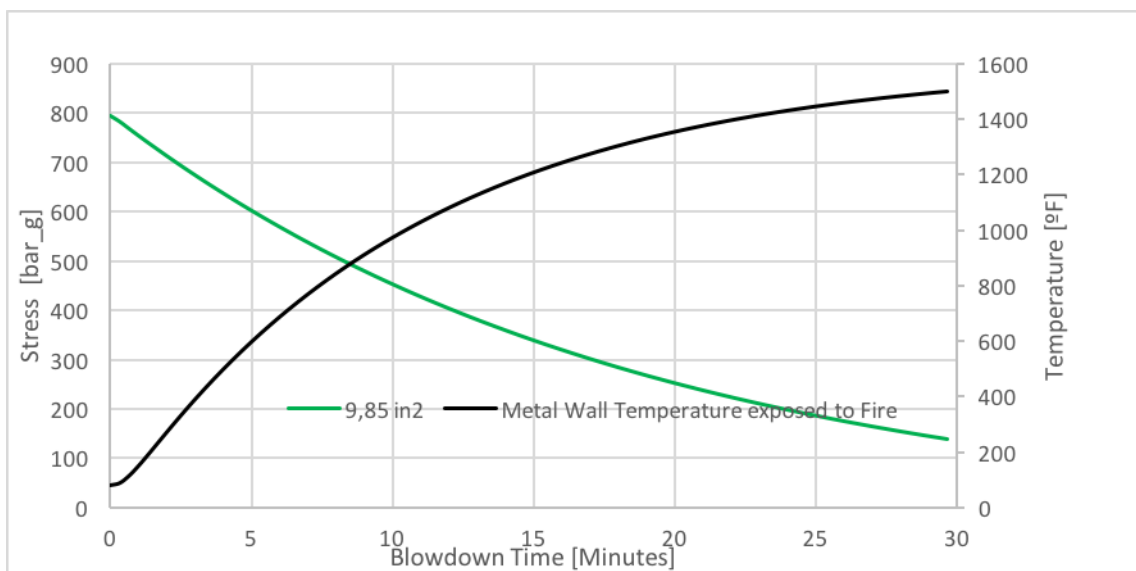


Fig. 7.2.1 Gràfica Temperatura i Tensió- Temps de despressurització

Com mostra la gràfica 1, el separadors de gruixos majors s'escalfen més lentament. Per tant, el dipòsit assoleix tensions menors i les variacions de stress són més graduals. A continuació, es demostra que per una mateix procés de despressurització, és a dir, amb el

mateix tamany de RO, el separador d'espessor menor disminueix la tensió més dràsticament. Tot i així, el dipòsit de major gruix sempre posseeix una tensió per sota de l'altre.

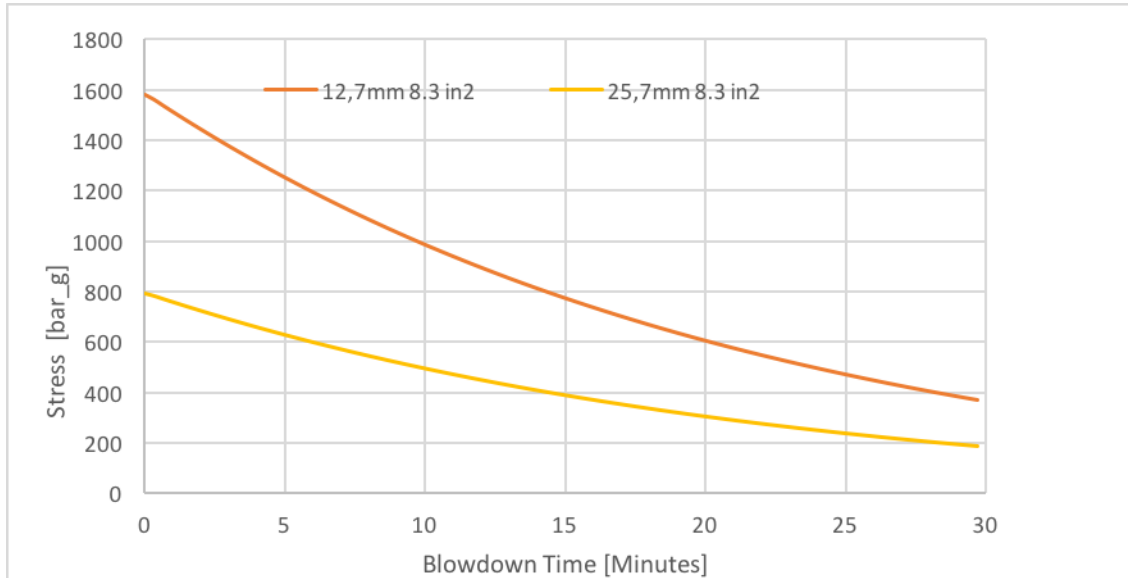


Fig. 7.2.2 Gràfica Tensió- Temps de despressurització per diferents gruixos

Sempre es vol mantenir la tensió per sota de la tensió de ruptura durant un temps de seguretat. Gràcies a l'estudi se sap que es pot arribar a triar el temps de ruptura depenent dels objectius que es volen assolir. Per fer-ho, existeixen RO de tamany molt diversos. Un RO gran provoca una sortida de gas més ràpida que resulta amb una disminució de la pressió veloç. La següent figura, mostra que per un vessel de un gruix de 25,4 mm, a mesura que augmenta l'àrea del RO, incrementa el procés de despressurització. En conseqüència, la pressió i la tensió del dipòsit són menors. Així per exemple, amb un RO de 11,05 in², passats 10 minuts, es redueix la tensió del separador de 800 bar a 425 bar. En canvi, quan el separador és de 6,38 in², després de 10 minuts el dipòsit es troba a 550 bar.

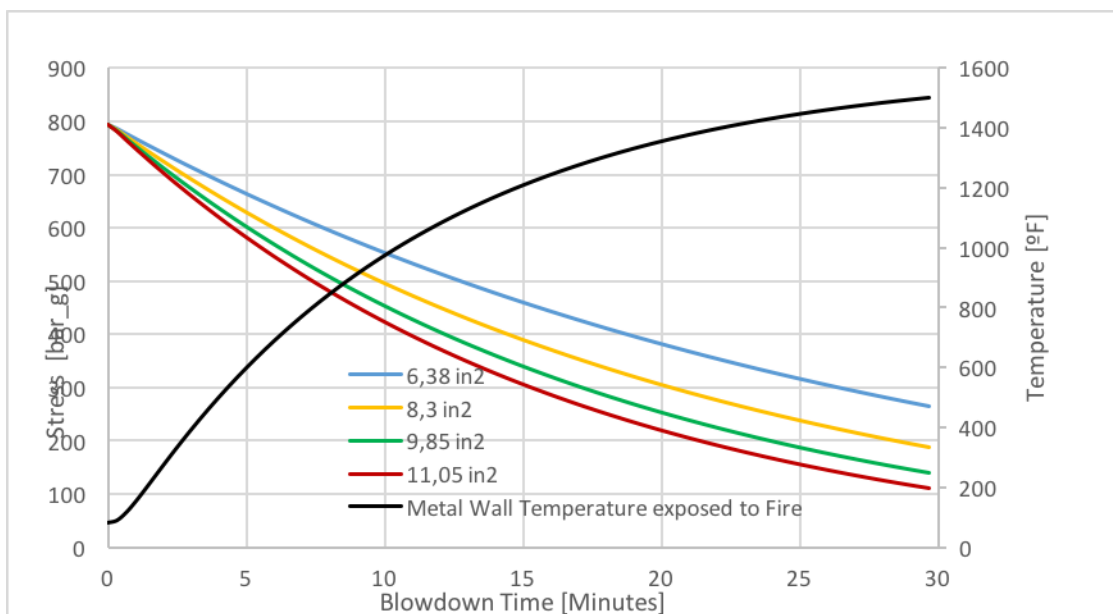


Fig. 7.2.3 Gràfica Tensió- Temps de despressurització per diversos RO (gruix de 25,4 mm)

Tot i que depenent de l'espessor del dipòsit la temperatura evoluciona diferent, el fet anterior es dona per qualsevol gruix.

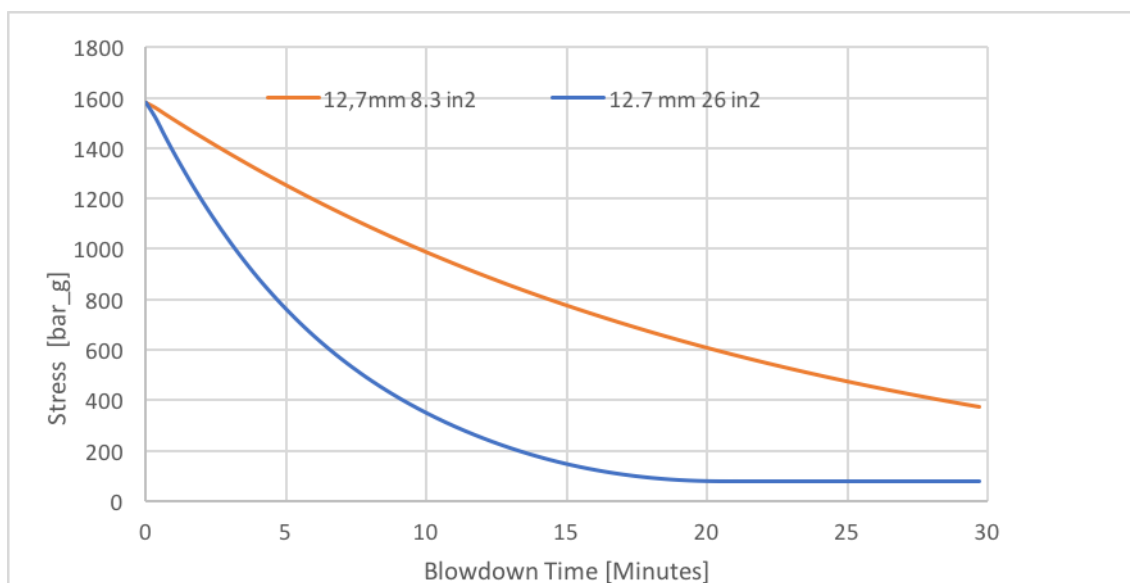


Fig. 7.2.4 Gràfica Tensió- Temps de despressurització per diversos RO (gruix de 12,7 mm)

Mantenir la tensió del separador baixa durant una situació d'incendi és molt important. Durant un temps prudencial suficient, cal està a una tensió per sota de la tensió de ruptura de la temperatura del moment. Per aquest motiu, la pressió del dipòsit en cada instant juga un paper clau. Depenent de l'empresa, es busca que aquest fet es dongui amb un temps

major o menor. Tot i així, es considera que el temps de seguretat ha de garantir com a mínim 2 hores abans de la ruptura del separador.

A la pròxima gràfica, s'observa que cada despressurització dóna lloc a un temps de ruptura. Les corbes contínues indiquen la disminució de pressió segons el tamany del RO. Les discontinues indiquen els temps de seguretat que existeix, segons la disminució de pressió d'un separador de gruix 25,4 mm. Així per exemple, amb un orifici de 6,38 in² (corba blava) i una despressurització durant 20 minuts no s'aconsegueix ni tan sols 2 hores de temps de seguretat. Aquesta situació es considera crítica. En canvi, quan el RO és de 9,85 in², s'obté un temps de ruptura (verd) mínim de 8 hores. A més, si el tamany de el RO és de 11,05 in² es desenvolupa un mínim el qual assegura un temps de seguretat de 24h, aquest pot ser de gran utilitat.

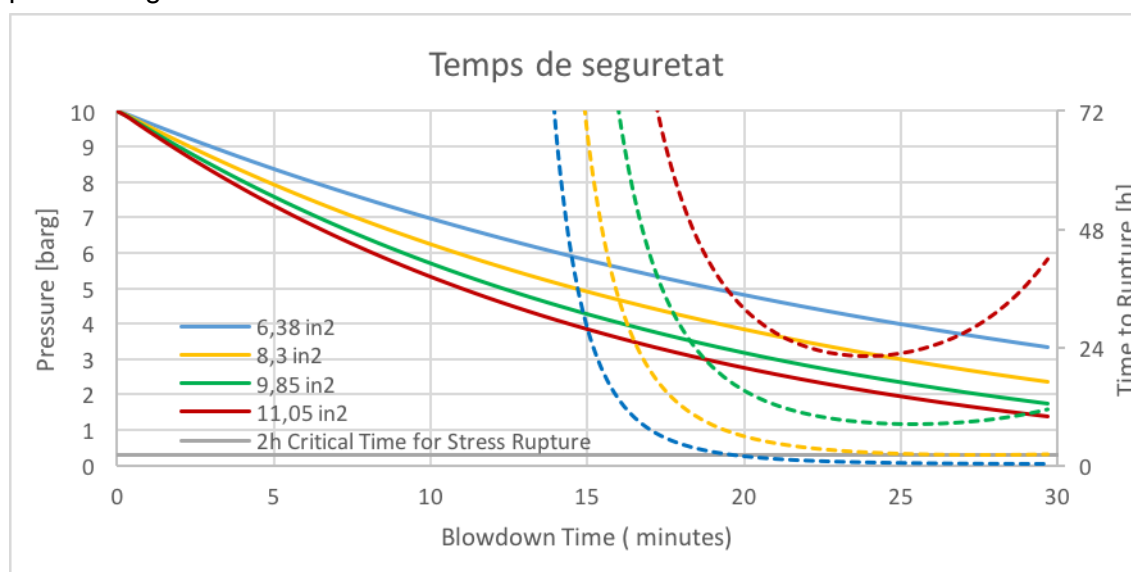


Fig. 7.2.5 Gràfica Temps de ruptura per diversos Ros

La nova metodologia per descobrir el temps de despressurització a partir del RO i les característiques del vessel obre un nou ventall de possibilitats per optimitzar el procés en situació d'emergència. La nova informació perfecciona la metodologia que considera que la despressurització ha de ser a la meitat de pressió en 15 minuts.

Com es veu a la gràfica anterior, és cert que la corba groga despressuritza en 15 minuts de 10 bar a 5 bar, la pressió es redueix a la meitat i això assegura que hagi un temps de seguretat de 2 hores. Tot i així, quan el gruix del dipòsit és menor, la despressurització en 15 minuts pot ser insuficient per obtenir el temps de ruptura necessari. A més, es possible que l'empresa petroliera desitgi un temps de seguretat major, aleshores cal despressuritzar amb més velocitat mitjançant un RO major. També, s'aconsegueix incrementant el gruix del separador. Per tant, estudiant aquests elements ara és possible decidir el temps de seguretat millor per cada plataforma sense està supeditat a que siguin 2 hores. Com a

resum, la gràfica següent recull tots els resultats de la simulació de HYSIS.

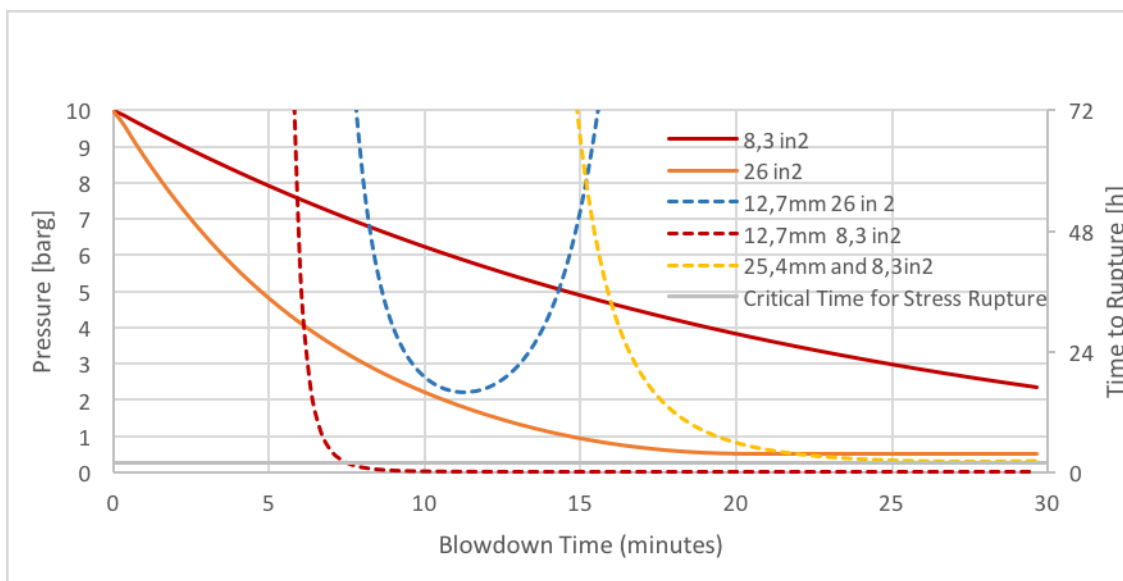


Fig. 7.2.6 Gràfica recull de resultats

Les corbes discontinues groga i vermella indiquen la influència del gruix en el temps de seguretat. Finalment, les corbes discontinues vermella i blava mostren la rellevància del tamany de RO en el temps de seguretat.

7.3. Aplicació de l'eina vies de continuació

Tanmateix, encara hi ha camí a fer. Les dades de partida d'aquest treball estan extretes de les gràfiques de tensió i temperatura per un tipus concret d'acer al carboni (ASTM A515 Grade 70). Si el material canvia, també ho fan les seves gràfiques i les equacions extretes a partir d'elles. Aquest és un possible pas d'ampliació del càlcul en el procés de despressurització. D'aquesta manera la informació seria polivalent per qualsevol material.

D'altra banda, aquesta informació podria ser útil per complementar altres mètodes més enllà del que ja s'ha desenvolupat en aquest projecte. Ara per ara, aquesta metodologia està restringida a l'àmbit de la despressurització en una situació d'emergència. Però, tots els processos que es porten a terme en una plataforma petrolera i que han de ser simulats mitjançant softwares com és HYSYS, poden ser complementats amb aquest càlcul.

Per últim, com a via de continuïtat i ampliació, es planteja la programació d'un software que englobés la informació i l'execució. Així no només el programa inclouria el càlcul del temps de seguretat per tot tipus de materials, així com la funcionalitat que ofereix HYSYS. D'aquesta manera que no caldria carregar la informació d'un programa a un altre un cop obtingudes les equacions. Es podria dissenyar una interfície intuïtiva i fàcil de cara a l'usuari, basada en els algorismes de HYSYS, de manera que aquest procés de càlcul esdevingui ràpid i automàtic. La recol·lecció de dades com la pressió i temperatura es faria mitjançant sensors instal·lats a la planta i aquesta informació seria transferida a la base de dades del programa, sense necessitat de ser introduir-la manualment, com és el cas actual.

Fins ara, els processos de simulació de plataformes petroleres en situació d'incendi podien estar fàcilment sotmesos a possibles errors, degut a la certesa de la informació base de la que es parteix. Així doncs, aquest projecte no pretén posar punt i final a la millora d'una metodologia que és imprescindible sinó ser de gran ajuda per les empreses encarregades de portar a terme processos de simulació.

Conclusions

El resultat d'aquest projecte és la confirmació de que els mètodes actuals establerts per la normativa de l'API 521 són extrapolables a qualsevol gruix i temperatura tot i que a la majoria d'empreses no les aplica de forma òptima. Aquest estudi demostra que el càlcul del temps de seguretat es pot complementar i perfeccionar amb la metodologia descoberta.

L'obtenció d'una equació que engloba tots aquells aspectes físics referents al material del qual està fabricat el dipòsit i les condicions del seu entorn facilita infinitament la feina a empreses preocupades per la seguretat de les seves plantes. Gràcies a l'adaptació de la informació elaborada, les equacions trobades s'introdueixen a programes com HYSYS, per tal de simular la situació d'incendi amb més precisió.

El fet de conèixer aquest temps és imprescindible a l'hora de calcular el procés de despressurització dels equips, ja que dona coneixement del temps que es disposa abans no tingui lloc una explosió. Per tant, s'ha introduït un nou paràmetre en el disseny d'una part de la plataforma ja que fins aleshores el temps de seguretat s'entenia com una conseqüència del procés i ara esdevé una elecció. Per això, els procediments que fins eren orientatius i aproximats es poden dur a terme de manera molt acurada i tècnica.

En la realització d'aquest projecte, s'ha tingut l'oportunitat de conèixer de prop el funcionament de les plataformes petroleres. També s'ha entès tot l'equip de professionals que hi ha al darrere per assegurar un bon funcionament de les plantes en situacions crítiques i que busquen garantir la seguretat.

Per últim, el que més valorem és haver tingut l'oportunitat de realitzar un projecte amb una problemàtica real el qual s'ha solucionat aplicant conceptes de moltes assignatures del grau estudiat. Ens ha motivat reunir tots els coneixements en un projecte i gestionar la informació per donar solució a una necessitat important com la seguretat dels treballadors. Podem concloure que ha estat per nosaltres un projecte que finalitza una etapa però que deixa la porta oberta a noves oportunitats i interessos en el món de la indústria petrolera.

Agraïments

Aquest treball no hagués estat possible sense la intervenció de diverses persones. En primer lloc, ha estat necessari la implicació del Sr. Luís Pons a qui li agraïm el seu seguiment durant el projecte.

També, es vol agrair a l'empresa InProcess la oportunitat de realitzar aquest projecte així com la seva col·laboració. Ens han permès posar en pràctica els nostres estudis i ens han facilitat eines de treball d'enginyeria com HYSIS. En especial, agrair al Sr. Miquel Àngel Alós per la seva constant dedicació i paciència en les reunions que s'han dut a terme al llarg de l'elaboració del treball.

Finalment, es vol agrair al Sr. Oriol Millán per la seva orientació i motivació al llarg del camí. Pel projecte ha estat clau el seu recolzament i ajuda.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

[1] Metal Stress, “Depressuring within 15 minutes ni longer applicable”

[2] Pressure Vessels. David Roylance. Department of Materials Science and Engineering. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, 02139. August 23, 2001.

[<http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/pv.pdf>]

[3] Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical, and related facilities, by Dennis P. Nolan, P.E. Noyes Publications. 1996 Westwood, New Jersey, USA.

[<http://www.muhandes.net/content/library/fa799cb4f51747168e4263308a22e06e.pdf>]

[4] Size Depressurization and Relief Devices for Pressurized Segments Exposed to Fire, www.cepmagazine.org, September 2002

[5] GENERALITAT DE CATALUNYA – OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC. Guía pràctica para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Marzo de 2012.

[6] API, American Petroleum Institute. Dates de consulta: 15/04/2016 a 28/05/2016

[<http://www.api.org/about>]

[7] NFPA, National Fire Protection Association. Data de consulta: 14/04/2016 [<http://www.nfpa.org/>]

[8] ASME, The American Society of Mechanical Engineers. Dates de consulta: 02/04/2016 a 25/05/2016 [<https://www.asme.org>]

Bibliografia complementària

[1] HPI, Hydrocarbon Processing Industry. Data de consulta: 13/03/2016

[<http://www.hydrocarbonprocessing.com/Stub.aspx?StubID=7377>]

[2] Història i actualitat. Data de consulta: 27/03/2016

[<http://www.strategyand.pwc.com/perspectives/2015-oil-gas-trends>]

[3] Estudios de remuneración 2016. Data de consulta: 24/04/2016

[http://www.pagepersonnel.es/sites/pagepersonnel.es/files/er_ingenieros16.pdf]

[4] Procesos de conformado mecánico, M. en I. Teresita Robert N., 2008. Influencia de la temperatura en el comportamiento mecánico de los metales. Data de consulta: 27/05/2016

[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Temperatura_5185.pdf]

[5] Extraction, Oil&Gas. Data de consulta: 07/03/2016. [<http://extractionog.com/>]

[6] AFPM, American Fuel & Petrochemical Manufacturers. Refinery Process. Data de consulta: 07/03/2016. [<https://www.afpm.org/the-refinery-process/>]

[7] Michigan Technological University, Pressurized Systems. Data de consulta: 15/03/2016.

[<http://www.mtu.edu/oshs/safety-programs/guides/pressurized-safety/>]

[8] Schlumberger, Carbonate Reservoirs. Data de consulta: 21/03/2016.

[http://www.slb.com/services/technical_challenges/carbonates.aspx]

[9] Chevron Pascagoula Refinery. Processing and Refining. Data de consulta: 21/03/2016.

[<http://pascagoula.chevron.com/home/abouttherefinery/whatwedo/processingandrefining.aspx>]

[10] Science, Technology and Business Division. BERA. Transportation & Storage of Oil and Gas. Data de consulta: 23/03/2016.

[<https://www.loc.gov/rr/business/BERA/issue5/transportation.html>]

[11] History. Oil Industry. Data de consulta: 25/03/2016.

[<http://www.history.com/topics/oil-industry>]

[12] Emergency Response, The Oil Industry spills its secret. Laura Walter, Oct 1, 2009.

[http://ehstoday.com/fire_emergencyresponse/news/emergency-response-oil-industry-secrets-6486]